

Aus dem Institut für Pflanzenernährung
der Justus-Liebig-Universität Gießen
Direktor: Professor Dr. K. Mengel

und dem Institut für Biochemie des Bodens
der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft
Braunschweig-Völkenrode (FAL)
Direktor: Professor Dr. Dr. h. c. W. Flaig

Verlagerung von Pflanzennährstoffen (Ammonium- und
Nitratstickstoff, Kalium, Phosphat, Calcium, Magnesium)
im Bodenprofil unter natürlichen Anbaubedingungen nach
Düngung mit Kalkammonsalpeter bzw. mit N-Lignin

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
im Fachbereich "Ernährungswissenschaften"
der Justus-Liebig-Universität Gießen

Eingereicht von
Dipl. agr. Suphi Aslan
geboren in Antakya/Türkei

Gießen 1980

Aus dem Institut für Pflanzenernährung
der Justus-Liebig-Universität Gießen
Direktor: Professor Dr. K. Mengel

und dem Institut für Biochemie des Bodens
der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft
Braunschweig-Völkenrode (FAL)
Direktor: Professor Dr. Dr. h. c. W. Flaig

Verlagerung von Pflanzennährstoffen (Ammonium- und
Nitratstickstoff, Kalium, Phosphat, Calcium, Magnesium)
im Bodenprofil unter natürlichen Anbaubedingungen nach
Düngung mit Kalkammonsalpeter bzw. mit N-Lignin

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
im Fachbereich "Ernährungswissenschaften"
der Justus-Liebig-Universität Gießen

Eingereicht von
Dipl. agr. Suphi Aslan
geboren in Antakya/Türkei

Gießen 1980



Dekan:

- | | |
|----------------------|------------------------------|
| 1. Berichterstatter: | Prof. Dr. H. Kühn |
| 2. Berichterstatter: | Prof. Dr. Dr. h. c. W. Flaig |

Tag der mündlichen Prüfung: 21. August 1980

Das Institut für Biochemie des Bodens wurde am 22. Januar 1980
umbenannt in Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde,
Direktor: Prof. Dr. D. Sauerbeck.

Meinen Eltern gewidmet

Die vorliegenden Untersuchungen sind vom Januar 1973 bis April 1976 auf Grund eines freundlichen Übereinkommens zwischen Herrn Prof. Dr. W. Flaig, Institut für Biochemie des Bodens der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode, und Herrn Prof. Dr. W. H. Kühn, Institut für Pflanzenernährung der Justus-Liebig-Universität Gießen, im Institut für Biochemie des Bodens in Braunschweig durchgeführt worden.

Herrn Prof. Dr. W. Flaig möchte ich für die Überlassung des Themas, eines Arbeitsplatzes sowie für seine Anleitung und seine ständige Fürsorge danken.

Herrn Prof. Dr. W. H. Kühn bin ich für die Überlassung des Themas sowie alle Mühe, Anregung und Förderung, die er mir zuteil werden ließ, zu besonderem Dank verpflichtet.

Mein ganz besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. H. Söchtig, dem Leiter des Arbeitsgebietes "Biochemie der Pflanze" des Instituts für Biochemie des Bodens, für seine aufopferungsvolle Betreuung, seine ständige Hilfsbereitschaft und Förderung im Laufe dieser Arbeit, für seine Mühe bei den Korrekturen und für viele wertvolle Diskussionen, Beratungen und Anregungen.

Mein Dank gilt ferner Herrn Ing. Agr. G. Schmidt und der chemisch-technischen Assistentin Fräulein U. Krüger, die mir bei der Anlage und Durchführung der Feldversuche und den Analysen behilflich waren.

Herrn Dipl. Math. D.-D. Strauß bin zu Dank für seine Unterstützung bei der Datenerfassung und Auswertung verpflichtet.

Der Deutsche Akademische Austauschdienst (DAAD) ermöglichte mir durch finanzielle Unterstützung den Aufenthalt in der Bundesrepublik Deutschland und die Durchführung dieser Arbeit, wofür herzlich gedankt sei.

Gliederung

1. Problemstellung	1
1.1 Auswaschung von Nährstoffen	2
1.2 Herstellung und Wirkung von N-Lignin	5
2. Beschreibung des Versuchsstandortes und der Klimabedingungen während des Untersuchungszeitraumes	9
2.1 Anlage des Feldversuches	9
2.2 Der Boden des Versuchsfeldes	11
2.2.1 Bodenprofil	11
2.2.2 Bodenphysikalische Daten	12
2.2.3 Bodenchemische Daten	13
2.3 Klimatische Wasserbilanz	14
3. Aufbau und Arbeitsweise der Anlage zur Entnahme von Bodenlösungen	16
3.1 Einbau der Saugkerzen nach Czeratzki	16
3.2 Arbeitsweise der Anlage zur Entnahme von Bodenlösungen	22
3.3 Entnahme von Bodenlösungen	22
3.4 Einbau der Meßstellen für die Messung der Bodenfeuchte mit einer Neutronensonde	24
4. Methoden	24
4.1 Messung der Bodenfeuchte	24
4.1.1 Bestimmung des Wassergehaltes des Bodens durch Trocknung	24
4.1.2 Messung der Bodenfeuchte mit einer Neutronensonde und Eichung der Neutronensonde	25
4.2 Bestimmung von Bestandteilen der Bodenlösung	29
4.2.1 Ammonium- und Nitratstickstoff	29
4.2.2 Nitritstickstoff	30
4.2.3 Organisch gebundener Kohlenstoff	30
4.2.4 Phosphat	30
4.2.5 Calcium und Magnesium	31
4.2.5 Kalium	31
4.2.7 pH und Leitfähigkeit	31

5. Ergebnisse

5.1 Veränderungen der Bodenfeuchte im Verlaufe des Versuchszeitraumes

5.1.1 Veränderungen, gemessen durch Trockengewichtsbestimmungen

5.1.2 Wassergehalte, bestimmt mit der Neutronensonde

5.1.3 Volumen der entzogenen Bodenlösung

5.1.4 Beziehung zwischen dem entzogenen Volumen an Bodenlösung und dem Gehalt an Nitratstickstoff

5.1.5 Versuch der Quantifizierung der Sickerwasserbewegung

5.2 Veränderungen der Gehalte an Inhaltsstoffen von Bodenlösungen im Verlaufe des Versuchszeitraumes

5.2.1 Verlagerung von Nitratstickstoff

5.2.2 Verlagerung von Ammoniumstickstoff

5.2.3 Gehalte an Nitritstickstoff in den Bodenlösungen

5.2.4 Verlagerung von Kohlenstoff

5.2.5 Verlagerung von Phosphat

5.2.6 Verlagerung von Calcium

5.2.7 Verlagerung von Magnesium

5.2.8 Verlagerung von Kalium

5.2.9 pH und Leitfähigkeit der entzogenen Bodenlösungen

5.3 Erträge und Stickstoffentzüge

5.4 Stickstoff-, Phosphor- und Kaliumgehalte des keramischen Materials einiger Saugkerzen nach Versuchsende

5.5 Kohlenstoff- und Stickstoffgehalte des Bodens der Meßflächen nach Versuchsabschluß 1975

6. Diskussion

7. Zusammenfassung

8. Literaturübersicht

9. Anhang - Tabellen und Abbildungen

1. Problemstellung

Die Reinhaltung von Oberflächen- und Grundwasser und damit die Versorgung der Bevölkerung mit einwandfreiem Trink- und Brauchwasser sowie die Erhaltung des Lebensraumes "Wasser" bereitet in den Industrieländern in zunehmendem Maße Schwierigkeiten. Zur Verschmutzung tragen vor allem industrielle und kommunale Abwässer bei, aber auch die Abwässer landwirtschaftlicher Betriebe. Darüber hinaus wird der Landwirtschaft vorgeworfen, durch steigende Mineraldüngung zu dieser Belastung beizutragen.

Die Düngung vor allem mit mineralischen Stickstoffdüngern nimmt in der Landwirtschaft, insbesondere beim Anbau von Sonderkulturen, in der Bundesrepublik Deutschland laufend zu. Der Verbrauch stieg z. B. im Durchschnitt von 79,7 kg/ha N in 1969/70 auf 92,3 kg/ha N in 1975/76 bzw. der Gesamtverbrauch von 0,93 Mill. t in 1969/70 auf 1,23 Mill. t in 1975/76. Jedoch nicht nur die steigende Düngung selber, sondern auch die zunehmende Anreicherung der Böden mit Stickstoff in der organischen Substanz des Bodens und die zusätzliche Verwendung wirtschaftseigener Dünger erhöht das Stickstoffangebot. Wenn dieses Angebot nicht voll ausgenutzt wird, besteht die Möglichkeit, daß der Überschuß zur Belastung des Grundwassers beitragen kann.

Die Belastung der Gewässer durch industrielle und kommunale Abwässer kann durch eine Nutzung der Abfallprodukte vermindert werden. Eine Möglichkeit der Nutzung derartiger Abfallstoffe ist die Umsetzung von Abfällen der Zellstoffindustrie zu einem organischen Stickstoffdünger (N-Lignin), der auf Grund seiner Zusammensetzung eine langsamere Nachlieferung des Stickstoffs bewirkt. Diese kann nach BUCHNER und STURM (1973) zu einer Verminderung der Belastung des Grundwassers bei höheren Stickstoffgaben führen.

In der vorliegenden Arbeit soll deshalb im Vergleich zwischen dem organischen N-Dünger N-Lignin und dem mineralischen N-Dünger Kalkammonsalpeter die Verlagerung und Auswaschung von Stickstoff und anderen Hauptnährstoffen unter verschiedenen Feldfrüchten nach Düngung mit steigenden Gaben beider Düngemittel auf einem lehmigen Sandboden unter natürlichen Niederschlagsbedingungen gemessen werden.

1.1 Auswaschung von Nährstoffen

Die Verlagerung und Auswaschung von Nährstoffen aus der durchwurzelten Zone des Bodens ist in den letzten Jahrzehnten in einer großen Zahl von Untersuchungen, vor allem solchen mit Lysimetern, verfolgt worden. In neuerer Zeit sind diese durch Verwendung von keramischen Kerzen nach CZERATZ (1971) an gewachsenem Boden erweitert worden. Der Schwerpunkt lag hierbei auf der Messung der Verlagerung von Stickstoff unter verschiedenen Bedingungen, wobei vor allem die Auswaschung des nicht durch den Boden sorbierbaren Nitrat-Stickstoffs verfolgt wurde.

Die Ergebnisse dreißigjähriger Lysimeterversuche in Weihenstephan zeigen nach AMBERGER (1972), daß die Höhe der Niederschläge und die physikalischen Bodeneigenschaften für den Grad der Sickerwasserbewegung verantwortlich sind. Aus Böden mit höherer Wasserkapazität werden etwa ein Drittel und aus Sand mehr als die Hälfte der Jahresniederschläge als Sickerwasser abgegeben. Dabei sind in den Sommermonaten die Sickerwasserverluste durch den Wasserverbrauch der Pflanzen geringer, im vegetationsfreien Spätherbst und Winter höher. Die Nitratauswaschung steigt bei verschiedenen Böden mit steigendem Sickerwasseraustrag und nimmt mit steigendem Stickstoffgehalt des Bodens zu. Jedoch ist in Jahren mit hohen Niederschlägen der Austrag aus einem stickstoffarmen Sand höher als aus einem stickstoffreichen Schotterboden in niederschlagsarmen Jahren.

Die von diesen Grundvoraussetzungen - Niederschläge, physikalische Bodeneigenschaften, Stickstoffgehalt des Bodens - abhängige "Basisauswaschung" von Nitrat-Stickstoff scheint einen größeren Einfluß auf die Auswaschung von Nitrat-Stickstoff zu haben als die Düngung. So findet PFAFF (1963, a), daß eine Zusatzdüngung von 80 kg/ha Stickstoff zu einem Sandboden, der alle drei Jahre mit Stallmist gedüngt worden war, die Auswaschung von Stickstoff im Mittel von 14 Jahren nur von 48 auf 55,5 kg/ha N erhöhte.

Stärkere Stickstoffverluste durch Auswaschung traten erst bei einer den Bedarf der Pflanzen erheblich übersteigenden Stickstoffdüngung von 240 bis 320 kg/ha N ein (PFAFF, 1964). In diesen Fällen wurden 6-10 % des gegebenen Stickstoffs ausgewaschen.

GLIEMEROTH (1958) fand dagegen keinen deutlichen Unterschied in der Stickstoffauswaschung zwischen "ungedüngt" und "gedüngt", selbst bei hohen Stickstoffgaben von 360 kg/ha N. Er beobachtete lediglich eine

Verlagerung während des Winters bis zu 70 cm Tiefe. Eine Auswaschung von 5-20 % des mit der Düngung gegebenen Stickstoffs fand OWENS (1960), während OVERREIN (1969) bei einer Düngung mit 250 kg/ha N mehr als 90 % des Düngerstickstoffs nach 3 Monaten im Perkolat antraf. Ebenfalls nur eine Verlagerung von Stickstoff beobachtete LOHSSE (1977) in Untersuchungen mit Saugkerzen.

VÖMEL (1970) wies in Untersuchungen mit ^{15}N -markierten Düngemitteln nach, daß der mineralisierte Bodenstickstoff in größerem Maße zu den Auswaschungsverlusten beiträgt, als der Düngestickstoff.

Die Abhängigkeit der Stickstoffauswaschung vom Stickstoffbedarf der Pflanzen wurde von VÖMEL (1965), JUNG (1972), CZERATZKI (1973) und FEGER (1975) nachgewiesen. Eine Erhöhung des Pflanzenertrages durch eine Düngersteigerung bewirkte eine stärkere Ausnutzung des Stickstoffs und damit eine Verminderung der Auswaschung. VÖMEL (1970) fand sowohl unter ungedüngtem als auch unter gedüngtem Hafer eine Auswaschung von 20 kg/ha N.

Hohe Stickstoffverluste durch Auswaschung werden vor allem bei Böden ohne Pflanzenbestand beobachtet. So stellt v. WISTINGHAUSEN (1971) eine jährliche Stickstoffauswaschung von 63 kg/ha N unter Brache und von nur 7-10 kg/ha N unter Bewuchs fest. Auch LOW und ARMITAGE (1970) fanden aus ungedüngtem Boden eine Stickstoffauswaschung von 118 kg/ha bei Brache gegenüber ca. 46 kg/ha unter Klee und 3 kg/ha unter Gras.

BUCKMANN und BRADY (1960) fanden in Ackerböden eine mittlere Auswaschung von 13-16 kg/ha N, der Austrag wurde aber durch eine Veränderung der Wasserführung durch starke Drainierung auf das 8-10fache gesteigert. Deutlich niedrigere Werte auch für den Austrag durch Drainagen fanden KLETT und KOEPF (1965), die nur einen Austrag von 18 kg/ha N aus einem größeren Einzugsgebiet feststellten. Zu vergleichbaren Werten kamen KOLENBRANDER (1969), van SCHREVEN (1970) sowie ERICKSON und ELLIS (1971).

Eine Erhöhung der Wasserzufuhr zum Boden durch Beregnung führt nach CZERATZKI (1976) nicht unbedingt zu einer Steigerung der Auswaschung von Nitrat-Stickstoff, sondern dann zu einer Verminderung der Auswaschung, wenn durch die Beregnung in Trockenjahren die Stickstoffausnutzung durch die Pflanze erhöht wird.

Die Anwendung einer niedrigen Gabe von 80 t/ha Müllklärschlammkompost scheint nach den Untersuchungen von FEGGER (1975) zu einer höheren Stickstoffauswaschung zu führen, während eine Verdoppelung dieser Gabe wieder zu einer Verminderung des Stickstoffaustrags auf den Wert, der bei geringer Mineraldüngergabe erhalten wird, führt. LOHSSE (1977) beobachtete dagegen nur eine Verminderung der Auswaschung von Nitrat-Stickstoff nach Anwendung von Müllklärschlammkompost.

Die aus Untersuchungen mit Lysimetern vorliegenden Ergebnisse für die Auswaschung von Phosphor ergeben nach der Zusammenstellung von AMBERGER (1972) nur in wenigen Fällen Werte über 1 kg/ha/Jahr P. Höhere Werte werden nur auf leichten Sandböden, wie auf Miozänsand in Weißenstephan, mit 5 kg/ha/Jahr gefunden (AMBERGER, 1972). Die Höhe der Phosphorauswaschung scheint unabhängig von der Phosphatdüngung (PFAFF, 1963, b) zu sein. Eine Steigerung auf 105 kg/ha P erbrachte mit 1,7 kg/ha/Jahr P sogar einen etwas geringeren Austrag als der nicht mit P gedüngte Boden mit 2,2 kg/ha/Jahr P. Ebenfalls eine geringe Auswaschung von 0,02-0,54 kg/ha/Jahr P findet OHLENDORF (1976), wobei weder die Düngung noch die Witterung einen Einfluß auf die Höhe des Austrages hatten.

Die Höhe der Auswaschung der Kationen Kalium, Calcium und Magnesium ist sehr unterschiedlich. Im langjährigen Durchschnitt wurden in den Weißenstephaner Lysimetern (AMBERGER, 1969) mit 25 kg/ha/Jahr K aus Sand und 12 bzw. 7 kg/ha/Jahr K aus Lehm bzw. Schotter relativ geringe Mengen an Kalium gegenüber Verlusten von 66-99 kg/ha/Jahr N ausgewaschen. WEISE (1971) fand auf sandigen Ackerböden eine höhere Kaliumauswaschung von 20-60 kg/ha/Jahr als von Stickstoff mit nur 10-20 kg/ha/Jahr. In Parabraunerde auf Löß tritt kaum eine Auswaschung von Kalium ein (LOHSSE, 1977). Vor allem auf kaliumfixierenden Böden ist nach PFAFF (1963, b) die Kaliumauswaschung sehr gering. Nach BOBRITZKAYA (1969) konnte selbst unter Brache eine Kaliumauswaschung von nur 2 kg/ha/Jahr gefunden werden.

Demgegenüber wird in fast allen Untersuchungen eine deutlich stärkere Auswaschung von Calcium beobachtet (OHLENDORF, 1976). Aus den Lysimetern in Weißenstephan (AMBERGER, 1972) wurden aus dem Sand- und Lehmboden 390 und aus dem kalkreicheren Schotterboden sogar 480 kg/ha/Jahr Ca ausgewaschen. PFAFF (1963, c) kam in seinen Untersuchungen zu ähnlich hohen Werten von 270 kg/ha/Jahr Ca.

Ähnliche Unterschiede in dem Verhalten der Kationen zeigen auch die Ergebnisse von VOMEL (1970) über eine Bestimmung der bis zu einer Tiefe von 50 cm verlagerten Menge. Neben 19 kg/ha N wurden gleichzeitig 51 kg K, 235 kg Ca und 34 kg Mg/ha verlagert.

Die Anwendung von Müllklärschlammkompost erhöht nach LOHSSE (1977) die Calciumeinwaschung in tiefere Bodenschichten.

1.2 Herstellung und Wirkung von N-Lignin

In den Abwässern der Zellstoffindustrie fallen in der Bundesrepublik Deutschland jährlich rund 600000 t Feststoffe an, die zu etwa 70 % aus ligninhaltigem Material bestehen und bisher industriell noch kaum genutzt werden. Nur in einigen Fällen ist die Verbrennung der Feststoffe in den Abwässern zur Rückgewinnung von Aufschlußchemikalien wirtschaftlich. Im Falle von Calciumbisulfatablaugen ist die Verbrennung zur Verminderung der Gewässerbelastung nur als Notlösung anzusehen. Es wurde daher im Institut für Biochemie des Bodens der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode in Zusammenarbeit mit der Firma LURGI in Frankfurt/Main und der Chemischen Fabrik Kalk, Köln, versucht, ein Verfahren zu erarbeiten, diese Abfallstoffe zu nutzen. Durch oxidative Ammonisierung des ligninhaltigen Materials bei erhöhter Temperatur und unter erhöhtem Druck, als eine Art künstliche Humifizierung, wurde ein Produkt hergestellt, das einen Teil des eingebauten Stickstoffs in organischer Bindung enthält und erst nach mikrobiologischer Umsetzung freisetzt.

In dem nachfolgenden Fließschema (FLAIG, 1972) ist der Gang der Herstellung von N-Lignin dargestellt (Abb. 1). Die Ablaugen der Zellstoffindustrie enthalten in der Trockensubstanz etwa 72 % ligninhaltige Substanzen, ungefähr 45 % Ligninsulfonat und 27 % Ligninkohlenhydratkomplexe. Weitere 27 % der Trockensubstanz sind Kohlenhydrate und 1,2 % anorganische Calciumsalze.

Die 10 % absolute Trockensubstanz (ATS) enthaltenden Ablaugen der Holzverkokung werden auf einen Trockensubstanzgehalt von 30 % eingedampft. Die Umsetzung mit Ammoniak erfolgt im Reaktor durch Umpumpen bei ca. 125° C und einem Sauerstoffdruck von 12 Atm. Nach der Reaktion wird mehrstufig auf 50 % ATS eingedampft. Danach wird bei 130° C im Sprühturm getrocknet, granuliert und abgesackt.

Der organische Stickstoffdünger N-Lignin enthält aus produktionstechnischen sowie aus wirtschaftlichen Gründen zwischen 18 und 20 % Gesamtstickstoff. Das bei der Reaktion nicht verbrauchte Ammoniak wird zurückgewonnen.

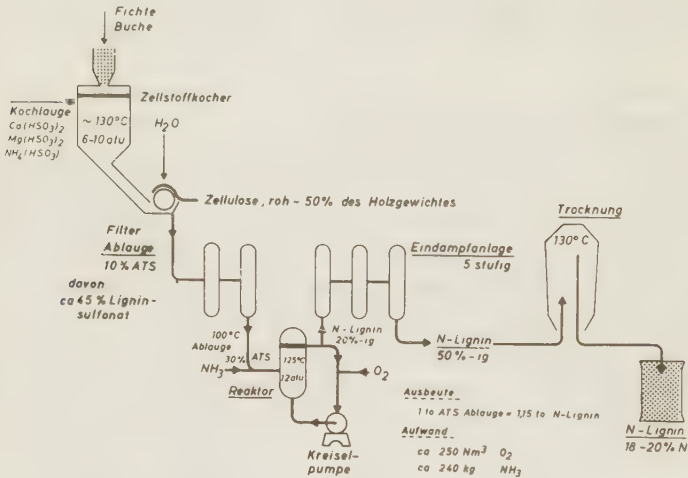


Abb. 1 : Fließschema zur Herstellung von N-Lignin aus Abfällen der Zellstoffindustrie (FLAIG, 1972).

Der Gesamtstickstoffgehalt des N-Lignins wird nach dem Kjeldahl-Verfahren und die Verteilung der Stickstofffraktionen mit verschiedenen Verfahren bestimmt. Der Gehalt an Ammoniumstickstoff wird durch eine Destillation mit Magnesiumoxyd erfaßt. Der sogenannte "Amid"-Stickstoff ist eine Fraktion im N-Lignin, die nach der Destillation des Ammoniumstickstoffs mit Magnesiumoxyd durch eine weitere Destillation mit 30 %iger Natronlauge noch in Form von Ammoniak abgespalten werden kann. Der sogenannte "heterozyklische" Stickstoff wird als Differenz des Gesamtstickstoffgehaltes und der Summe aus Ammonium- und "Amid"-Stickstoff berechnet.

Der Gesamtkohlenstoffgehalt wird durch trockene Verbrennung im Sauerstoffstrom und Messung des entwickelten CO₂ mit Hilfe einer Infrarotmeßzelle in der Apparatur der Firma Leco bestimmt.

Das zu den folgenden Untersuchungen verwendete N-Lignin hatte folgende Zusammensetzung:

Gesamt-Stickstoff	17,6 %			
Gesamt-Kohlenstoff	38,1 %			
Gesamt-Asche	3,30 %			
Ammoniumstickstoff	6,10 %, in % vom Gesamt-Stickstoff	34,7 %		
"Amid"-Stickstoff	1,95 %, in % " " "	11,1 %		
"heterozykl."-Stickstoff	9,55 %, in % " " "	54,3 %		

Bei der Trennung von N-Lignin in höher- und niedermolekulare Bestandteile mit Hilfe der Dialyse konnte festgestellt werden, daß etwa die Hälfte des N-Lignins aus einem Anteil besteht, der ein Molekulargewicht von über 10000 hat. In diesem sind 45 % des Gesamt-Stickstoffs in organischer Form fast ausschließlich gebunden enthalten. Dieser höhermolekulare Anteil kann im Boden durch seine Umtauschkapazität von ca. 200 mval/100 g zur Sorption von Kationen beitragen (FLAIG und SÖCHTIG, 1974).

Neben einem positiven Einfluß auf die Ertragsbildung durch die laufende Nachlieferung von Stickstoff (FLAIG, 1972; FLAIG und SÖCHTIG, 1974) sind noch eine Reihe besonderer Wirkungen von N-Lignin beobachtet worden. So beschreibt DAMBROTH (1973), daß nach Düngung mit N-Lignin die Entwicklung der vegetativen Organe weniger üppig als bei der Kalkammonsalpeter-Vergleichsdüngung war, so daß der Befall mit Mehltau geringer war und außerdem sich die langsam fließende Stickstoffquelle positiv auf die Standfestigkeit der Sommergerste auswirkte. Erst bei einer Düngung mit 200 kg/ha N als N-Lignin trat Lager ein.

Durch niedermolekulare Umsetzungsprodukte, die bei der Herstellung des N-Lignins entstehen, wird die Nitrifizierung des Ammoniums im N-Lignin gehemmt (FLAIG und SÖCHTIG, 1967; SÖCHTIG, 1970). Diese Hemmung der Nitrifizierung durch N-Lignin macht sich auch deutlich in Gemischen von Ammoniumsulfat mit N-Lignin bemerkbar (FLAIG, 1972).

Durch diese Hemmung der Nitrifizierung wird nicht nur der Nitratgehalt in schnell wachsenden Gemüsen stark vermindert (SÖCHTIG, 1970), sondern die Auswaschung löslicher Stickstoffformen aus dem Boden stark beeinflusst (SÖCHTIG und FLAIG, 1973). Die zuletzt genannten Versuche, die in Säulen und Kleinlysometern durchgeführt wurden, die mit Pseudogley-

Schwarzerde/Asel und Braunerde/Völkenrode gefüllt waren, zeigten eine deutliche Verminderung der Auswaschung von löslichem Stickstoff nach Zugabe von N-Lignin im Vergleich zu der von Kalkammonsalpeter und Ammoniumsulfat aus diesen Böden. Die Auswaschung löslicher Stickstoffformen war auf beiden Böden deutlich höher aus den Mineraldüngern als aus N-Lignin. Während an der Pseudogley-Schwarzerde fast ausschließlich Stickstoff in Form von Nitrat ausgewaschen wurde, wurde aus der sorptionsschwachen Braunerde vor allem bei Ammoniumsulfat auch Ammonium ausgewaschen. Aus beiden Böden wurden aber bei N-Lignin auch geringe Anteile organisch gebundenen Stickstoffs im Eluat ermittelt.

Eine weitere spezielle Wirkung des N-Lignins wurde von SÜCHTIG (1970) beschrieben. In den Nährstoffgehalten der Pflanzen zeigte sich ein höherer Phosphatgehalt, der nicht durch die Beeinflussung der Nitrifizierung und damit der Aufnahme von Ammonium anstelle von Nitrationen erklärt werden kann. N-Lignin scheint demnach die Phosphataufnahme zu beeinflussen, wie auch in Versuchen mit lateritischer Roterde festgestellt werden konnte. Durch die Zugabe von N-Lignin wird die Festlegung von Phosphat vermindert und dessen Verfügbarkeit verbessert.

Auch einige physikalische Eigenschaften des Bodens, wie Permeabilität und Wasserhaltekapazität, werden durch N-Lignin beeinflusst (FLAIG et al., 1976).

Diese hier geschilderten Befunde gaben Anlaß dazu, daß bei den vorliegenden Untersuchungen über die Verlagerung und Auswaschung von Nährstoffen auch der Kohlenstoffgehalt der Bodenlösungen bestimmt wurde, um eine mögliche Auswaschung organischer Verbindungen zu erfassen. Ferner wurde auch der Verlagerung von Phosphat Aufmerksamkeit geschenkt.

2. Beschreibung des Versuchsstandortes und der Klimabedingungen während des Untersuchungszeitraumes

2.1 Anlage des Feldversuches

Das Versuchsfeld liegt im Nordostteil des Versuchsgeländes der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode, und wird vom Institut für Pflanzenbau und Saatgutforschung betrieben. Im Jahre 1973 wurde auf diesem Versuchsfeld ein gemeinsamer Versuch des Instituts für Pflanzenbau und Saatgutforschung und des Instituts für Biochemie des Bodens zur Überprüfung der Düngewirkung von N-Lignin im Vergleich zu der von Kalkammonsalpeter angelegt. Dieser Versuch umfaßt eine 4feldrige Fruchtfolge mit 3 Düngungsstufen pro Düngemittel in 4facher Wiederholung. Aus diesem Gesamtversuch wurden zwei Feldfrüchte und je zwei Düngungsstufen pro Düngemittel für die durchzuführenden Untersuchungen über die Verlagerung von Nährstoffen durch Niederschläge mit Hilfe von Saugkerzen nach CZERATZKI ausgewählt. Eine ausführliche Beschreibung der ausgewählten Versuchsvarianten folgt in Abschnitt 3.1, Seite 16 - 19.

Bis vor 30 Jahren war diese Fläche als Rollfeld eines kleinen Flugplatzes genutzt worden. Das ehemalige Flugplatzgelände wurde nach diesem Zeitpunkt mit erheblichem Aufwand in Ackerland umgewandelt.

Die Lage des Versuchsfeldes und die der beiden Testflächen, in welche die Saugkerzen eingebaut wurden, ist in Abb. 2 dargestellt. Die ausgewählten Testflächen sind insgesamt 732 m² groß. Jede der beiden Testflächen umfaßte 6 Düngungsvarianten, von denen jedoch nur 4 für die folgenden Untersuchungen verwendet werden. Diese 4 Varianten werden im Folgenden bezeichnet. Die Meßflächen 1 - 4 gehören zur Testfläche 1, die Meßflächen 5 - 8 zur Testfläche 2.

Die Düngungsstufen in den Testflächen waren zu den beiden Feldfrüchten:

Meßfläche	für Sommerweizen	für Zuckerrüben
1 bzw. 5	80 kg/ha N als N-Lignin	100 kg/ha N als N-Lignin
2 bzw. 6	160 kg/ha N als N-Lignin	200 kg/ha N als N-Lignin
3 bzw. 7	80 kg/ha N als Kalkammonsalpeter	100 kg/ha N als Kalkammonsalpeter
4 bzw. 8	160 kg/ha N als Kalkammonsalpeter (Teilgaben von 80, 40, 40 kg N)	200 kg/ha N als Kalkammonsalpeter (Teilgaben von 100 u. 100 kg N)

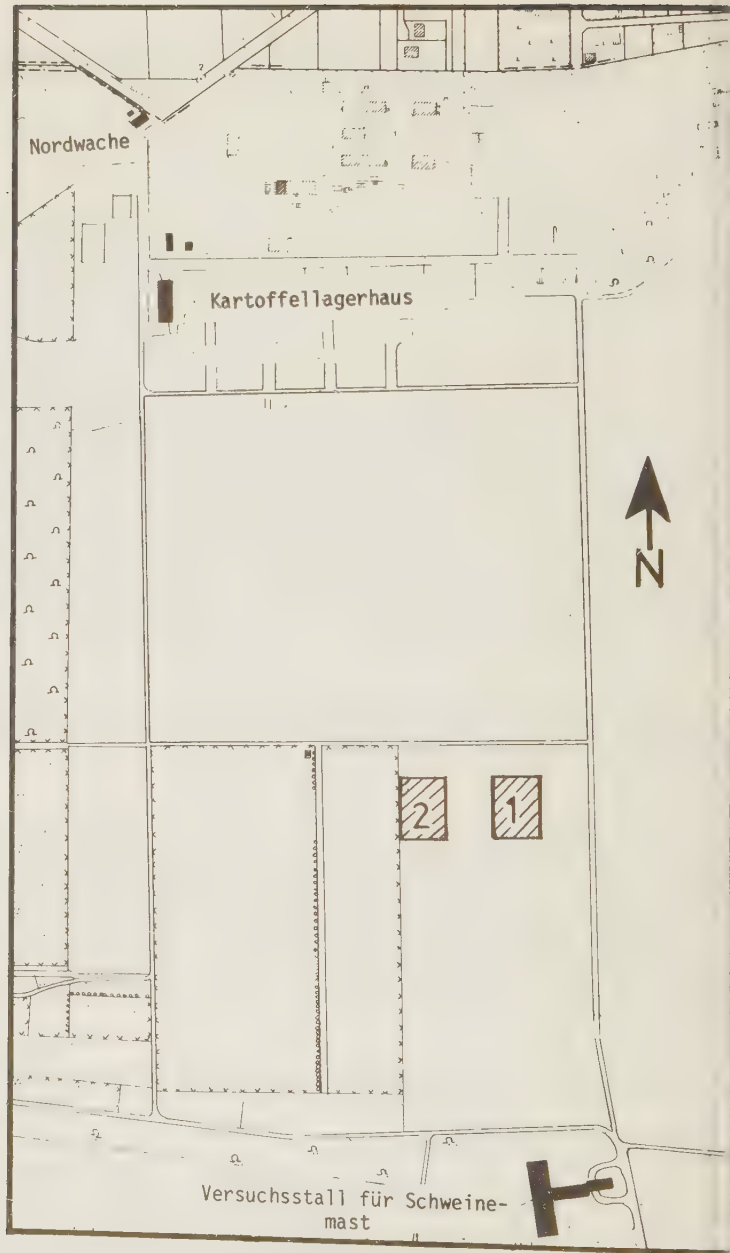


Abb. 2: Lageplan des Versuchsfeldes und der beiden Testflächen

Auf den beiden Testflächen wurden im Wechsel Zuckerrüben und Sommerweizen angebaut:

Jahr	Testfläche 1	Testfläche 2
1972	Zuckerrüben	Sommerweizen
1973	Sommerweizen	Zuckerrüben
1974	Zuckerrüben	Sommerweizen
1975	Sommerweizen	Zuckerrüben
1976	Zuckerrüben	Sommerweizen

Die Versuchsfläche ist absolut eben, so daß kein Zu- oder Abfluß von Oberflächenwasser zu befürchten ist. Da keine Bäume in der Nähe stehen, ist auch keine Beeinflussung von Wind und Niederschlägen durch Bewuchs gegeben.

2.2 Der Boden des Versuchsfeldes

Nach dem Raumplanungsgutachten Südost-Niedersachsens vom Jahre 1965 handelt es sich bei dem Boden der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft um sandige Braunerden, bewertet mit 40 - 50 Bodenpunkten nach der Reichsbodenschätzung. Nach ALTEMÜLLER ist folgender Profilaufbau des Profils Völkenrode Nord, Reichsbodenschätzung, gegeben.

2.2.1 Bodenprofil

Ap	0 - 22 cm	graubraun, schwach humos; schluffiger Sand, etwas steinig; ziemlich locker, feinkrümeliges Gefüge
A ₁	22 - 50 cm	hell-graubraun, teilweise ehemals bearbeitet durch Tiefkultur (Spargel); schluffiger Sand, steinig; dichte Kornpackung, sehr fest, aber in der Hand zerdrückbar
IIB ₁	50 - 75 cm	rötlich-gelbbraun, Grobsand und Kies, stark rostfleckig, stellenweise verkittet
IIB ₂	75 - 120 cm	hellgelber lockerer Sand mit horizontal ver- laufender Bänderung; Tonanreicherung aus älteren Verlagerungsprozessen, dort starke Verkittung
IIB ₃	unter 120 cm	kiesiger Sand in wechselnder Schichtung

2.2.2 Bodenphysikalische Daten

Für die Messung der Wasserbewegung im Boden wurden in die einzelnen Meßflächen Aluminiumrohre bis zu einer Tiefe von 2,20 m eingebracht, in welche die Neutronensonde für die Wassergehaltsmessungen eingefahren wurde. Für den Einbau dieser Rohre mußte eine Bohrung eingebracht werden, die zur Entnahme von Bodenproben aus verschiedenen Tiefen verwendet wurde. An diesen Bodenproben wurde die Korngrößenzusammensetzung bestimmt, um eine Charakterisierung der Bodenart des Versuchsfeldes in verschiedenen Tiefen zu erhalten. In Abbildung 3 ist die Korngrößenverteilung der Meßfläche 1 dargestellt. Die Korngrößenanalyse zeigt, daß der Sandanteil bei 60 cm Tiefe von 63 auf 75 % und dann annähernd gleichmäßig auf 91 % in 220 cm Tiefe ansteigt. Die Zunahme erfolgt vor allem in der Mittelsandfraktion. Der Schluffanteil nimmt von 31 auf 5,5 % ab, während der Tonanteil im ganzen Profil ziemlich konstant bleibt.

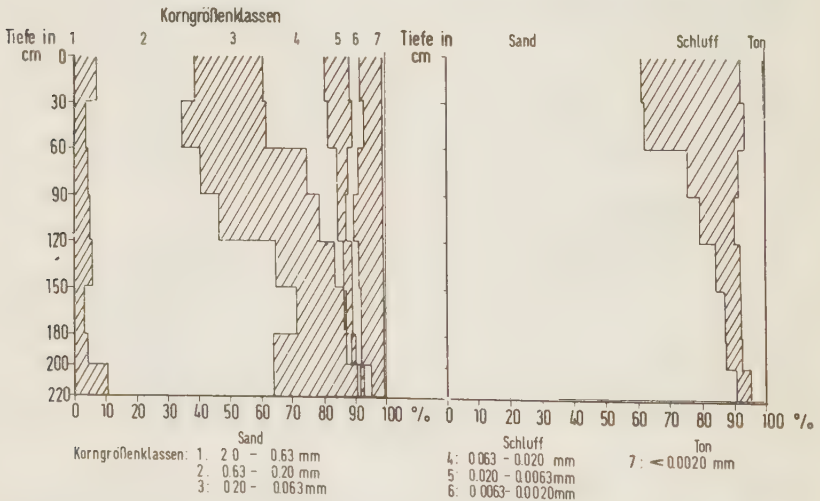


Abb. 3: Korngrößenfraktionierung der Bodenproben aus der Bohrung der Meßstelle 1 für die Messung der Bodenfeuchte mit einer Neutronensonde

Nach den vorliegenden Ergebnissen unterscheiden sich die Profile in den Meßflächen 1 - 8 in ihrer Korngrößenzusammensetzung nicht wesentlich (s. Anhang Abb. 31 - 37); nur das Profil 7 zeichnet sich durch höhere Schluff- und Tongehalte in der Schicht von 90 - 120 cm Bodentiefe aus. Man kann also davon ausgehen, daß das Versuchsfeld eine relativ einheitliche Korngrößenzusammensetzung hat, was für die Vergleichbarkeit der entnommenen Proben an Bodenlösungen untereinander sowie für die Messungen mit der Neutronensonde von Bedeutung ist.¹⁾

In der Tabelle 1 sind eine Reihe von weiteren bodenphysikalischen Daten zusammengestellt, die vor allem das Wasserhaltevermögen des Versuchsfeldbodens und die Menge an Wasser betreffen, die mit den keramischen Saugkerzen nach CZERATZKI bei einem Unterdruck von 0,5 Atm. entzogen werden kann.

Tabelle 1: Physikalische Daten des Versuchsfeldbodens

Tiefe in cm	Feldkapazität Gew. % H ₂ O	Gew. % H ₂ O 0,5 Atm. Unterdruck	Welkepunkt Gew. % H ₂ O	Porenvolumen in %
0 - 20	13,2	7,0 ± 0,70	3,0	37,8 ± 2,28
40 - 60	9,7	3,0 ± 0,72	2,5	36,6 ± 1,35
90 - 100	9,5	2,9 ± 0,75	2,5	36,3 ± 1,61
200	9,5	2,9	2,5	37

Die Feldkapazität nimmt vom lehmigen Sand in der Krume zum Sand in den Tiefen, in denen die Filterkerzen eingebaut wurden, deutlich ab. Merkbar, aber nicht so stark ändert sich der Welkepunkt. Dagegen ist ein ganz erheblicher Unterschied in dem Wassergehalt zu beobachten, der gegen einen Saugdruck von 0,5 Atm. zurückgehalten werden kann. Dieser Wert unterscheidet sich in den Meß-tiefen kaum von dem Welkepunkt-Wassergehalt. Der Boden hat ein sehr geringes Porenvolumen, das über die ganze Profiltiefe gleich bleibt.

2.2.3 Bodenchemische Daten

Im August 1973 wurden durch 5 Bohrungen Bodenproben von einem Randstück aus der Krume und aus den Bodenschichten entnommen, in die die Kerzen eingebaut worden waren. Die Ergebnisse sind in Tabelle 2 wiedergegeben.

1) An dieser Stelle möchte ich Herrn Dr. Ing. C. Sommer und Frau Narewski vom Institut für Pflanzenbau und Saatgutforschung der Bundesforschungs-anstalt für Landwirtschaft für die Bestimmung der Korngrößenfraktionen herzlich danken.

pH und Leitfähigkeit wurden mit 10 g Boden und 25 ml Lösung bestimmt. Die Leitfähigkeit wurde in der gleichen Lösung gemessen, in der pH_{H₂O} gemessen worden war. Der Kohlenstoff- und Stickstoffgehalt wurden durch nasse Verbrennung mit Kaliumdichromat-Schwefelsäure bzw. nach Kjeldahl bestimmt. Phosphor und Kalium wurden als laktatlösliche Nährstoffe, Magnesium und Calcium als Gesamtgehalt (nach Glühen bei 625 °C gelöst in 25%iger HCl) bestimmt.

Tabelle 2: Chemische Daten des Versuchsfeldebodens

Tiefe in cm	pH _{H₂O}	pH _{KCl}	Leitfähig- keit, mS	C %	N %	C/N
0 - 25	5,7	4,9	0,22	0,66	0,61	10,7
25 - 75	6,7	5,2	0,07	-	-	-
75 - 125	7,1	5,5	0,05	-	-	-
125 - 175	6,9	5,4	0,06	-	-	-
175 - 220	6,3	4,6	0,07	-	-	-
Tiefe in cm	p ¹⁾	K ¹⁾	Ca ppm	Mg		
0 - 25	126	133	1020	760		
25 - 75	40	140	910	1020		
75 - 125	17	80	880	1060		
125 - 175	17	45	520	610		
175 - 220	12	53	520	770		

1) laktatlöslich

2.3 Klimatische Wasserbilanz

Die Klimadaten in Tabelle 3 wurden nach Angaben der Agrarmeteorologischen Forschungsstelle in Braunschweig-Völkenrode mit deren Zustimmung zusammengestellt.¹⁾ Die Meßstation liegt ca. 5 km von dem Versuchsfeld entfernt. Zwischen den Versuchsfeldern und der Meßstation liegt ebenes Feld, so daß die Daten weitgehend übertragbar sein dürften.

Im langjährigen Durchschnitt wurde ein Niederschlag von N = 639 mm/a gemessen und eine Verdunstung (berechnet nach HAUDE, 1954) von V = 596 mm/a

1) An dieser Stelle möchte ich dem Leiter der Agrarmeteorologischen Forschungsstelle in Braunschweig-Völkenrode, Herrn Reg. Dir. Dr. H. Schrödt für diese Genehmigung meinen Dank sagen.

Monat	1931 - 1960				1973				1974				1975			
	N (mm)	V (mm)	N-V (mm)		N (mm)	V (mm)	N-V (mm)		N (mm)	V (mm)	N-V (mm)		N (mm)	V (mm)	N-V (mm)	
Januar	45	10	+ 35		22,6	8,1	+ 14,5		35,1	13,2	+ 21,9		54,1	20,3	+ 33,8	
Februar	41	13	+ 28		25,5	9,9	+ 15,6		24,0	16,5	+ 7,5		11,6	17,0	- 5,4	
März	37	28	+ 9		22,9	29,3	- 6,4		9,6	31,7	- 22,1		46,8	23,8	+ 23,0	
April	45	48	- 3		44,2	35,1	+ 9,1		6,9	74,5	- 67,6		49,5	43,5	+ 6,0	
Mai	54	83	- 29		49,4	75,3	- 25,9		56,0	69,5	- 13,5		53,6	75,0	- 21,4	
Juni	64	96	- 32		21,2	100,0	- 78,8		60,8	71,8	- 11,0		37,7	87,4	- 49,7	
Juli	84	99	- 15		50,6	99,8	- 49,2		34,3	65,3	- 31,0		53,1	113,7	- 60,6	
August	67	97	- 30		10,5	129,6	- 119,1		39,0	99,3	- 60,3		20,8	147,0	- 126,2	
September	51	64	- 13		41,4	69,9	- 28,5		26,4	65,6	- 39,2		57,5	78,4	- 20,9	
Oktober	55	33	+ 22		81,6	25,9	+ 55,7		88,8	19,4	+ 69,4		26,4	25,3	+ 1,1	
November	50	15	+ 35		31,5	18,0	+ 13,5		40,4	20,4	+ 20,0		44,6	13,3	+ 31,3	
Dezember	46	10	+ 36		42,9	10,2	+ 32,7		103,0	13,4	+ 89,6		27,6	10,1	+ 17,5	
Jahressumme	639	596	+ 43		444,3	611,1	- 166,8		524,3	560,6	- 36,3		483,3	654,8	- 171,5	

N = Niederschlag
V = Verdunstung
 $V = (E - e) \times f$
(nach HAUDE)

$(E - e)$ = Sättigungsdefizit der Luft um 14 Uhr

f = Monatsfaktor

angenommen, das heißt, daß die klimatische Wasserbilanz $N - V$ mit 43 mm positiv ist. In der Wachstumsperiode von April - September ergibt sich langjähriger Durchschnitt mit einem Niederschlag von $N = 365$ mm und ein Verdunstung von $V = 487$ mm und damit eine negative klimatische Wasserbilanz von -122 mm. In Trockenjahren ist die negative Bilanz wesentlich höher, 1973 z. B. -293 mm.

Die Zusammenstellung der Klimadaten in Tabelle 3 zeigt, daß die Untersuchungsjahre 1973, 1974 und 1975 eine deutliche negative klimatische Wasserbilanz von -167 mm, -36 mm bzw. -172 mm aufweisen. Da auch die Vorjahre 1971 und 1972 eine negative klimatische Wasserbilanz von -107 mm bzw. -40 mm hatten, liegen also 5 aufeinanderfolgende Trockenjahre vor. Eine positive klimatische Wasserbilanz wird aber auch in den Trockenjahren in den Monaten Oktober bis Januar bzw. Februar erhalten.

Die graphische Darstellung der klimatischen Wasserbilanz für den Versuchszeitraum in Abbildung 4 zeigt diesen Wechsel vom Negativen zum Positiven im Winteranfang und vom Positiven zum Negativen bei Frühlingsanfang.

3. Aufbau und Arbeitsweise der Anlage zur Entnahme von Bodenlösungen

Die Auswahl der Testflächen zur Entnahme von Bodenlösungen, die auf den Testflächen angebauten Feldfrüchte und die gegebene Düngung wurden in Abschnitt 2.1, Seite 9 - 11 beschrieben.

3.1 Einbau der Saugkerzen nach CZERATZKI

Die Saugkerzen wurden in den Tiefen 50, 100 und 200 cm eingebaut, um die Verlagerung von Nährstoffen innerhalb des Wurzelraumes und aus dem Wurzelraum heraus erfassen zu können. Die Saugkerzen in 50 cm Tiefe können als innerhalb des Wurzelraumes und die bei 100 cm als im unteren Bereich der Wurzelzone liegend angenommen werden. Die hier in den entzogenen Bodenlösungen vorhandenen Nährstoffe sind als verlagert, aber noch als verfügbar zu betrachten. Demgegenüber dürften die Nährstoffe, die mit der Bodenlösung aus 200 cm Tiefe entnommen werden, nur noch zu einem geringen Teil verfügbar sein.

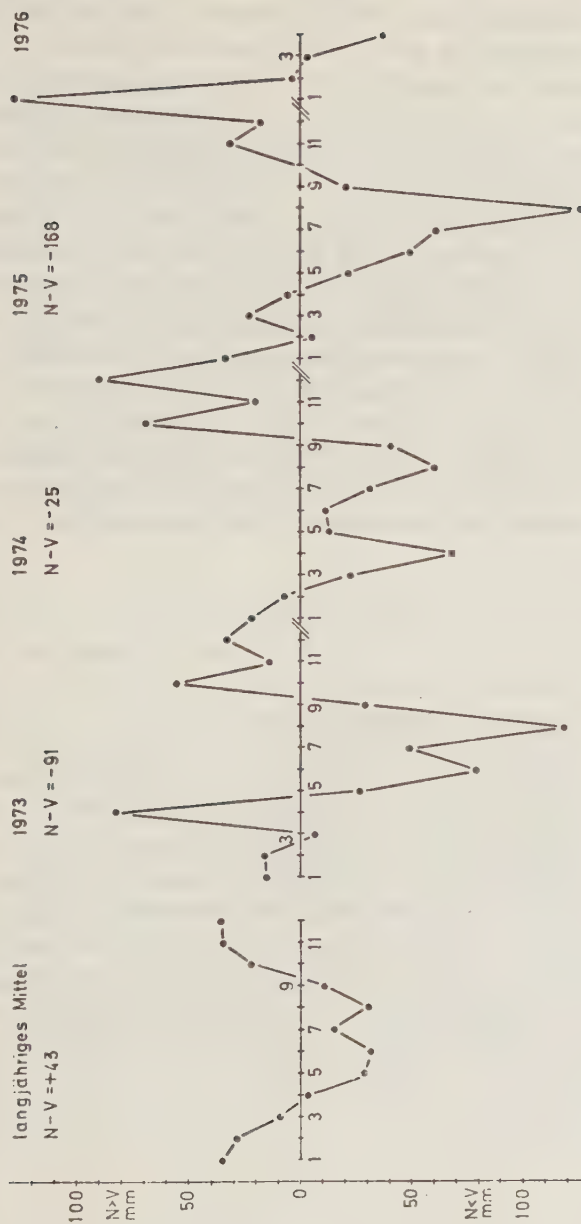


Abb. 4: Klimatische Wasserbilanz im langjähriges Mittel und in den Jahren 1973 bis 1975

N = Niederschläge in mm, V = Verdunstungsbeanspruchung in mm, N-V = klimatische Wasserbilanz

Der Einbau der einzelnen Kerzen in verschiedener Tiefe und die Verlegung der Zu- und Ableitungsschläuche führt zu einer mit der Tiefe der Verlegung zunehmender Veränderung des Bodens. Aus diesem Grunde und damit sich die einzelnen Saugzonen und Saugkerzen nicht gegenseitig beeinflussen, wurde die Kerzen nicht übereinander, sondern in einem größeren seitlichen Abstand angeordnet. Auf Grund dieser Anordnung und der Größe der Versuchsfläche war ein Einbau von nur 2 Kerzen pro Tiefe möglich. Der Einbau der Kerzen und der Schlauchleitungen erfolgte von den beiden zentralen Entnahmestellen, in der Abbildung 5 als Geräteschutzkasten eingezeichnet. Es wurden 60 cm tiefe Gräben zu den für den Einbau der Kerzen vorgesehenen Stellen ausgehoben. Für den Einbau der Saugkerzen wurde dann bis zu der erforderlichen Tiefe mit einem Bohrstock vorgebohrt und die Kerzen eingelassen. Ein guter Bodenschluß mit den Saugkerzen wurde dadurch hergestellt, daß zum einen ein Durchmesser des Bohrstocks gewählt wurde, der etwa gleich dem der Kerzen war, und daß zum anderen zusätzlich die Kerzen eingeschlämmt wurden. Die Schläuche wurden in den Gräben zu der zentralen Entnahmestelle geführt. Die Schläuche lagen frostsicher, so daß die Anlage auch im Winter funktionsfähig war.

In der Abbildung 5 sind die Lage der Saugkerzen mit der Kerzennummer und Tiefe in cm und der Verlauf der Schlauchleitungen für eine Testfläche eingezeichnet. Weiterhin sind durch Kreuze die Meßstellen für die Messung der Bodenfeuchte mit einer Neutronensonde markiert.

Die Kennzeichnung der einzelnen Kerzen erfolgt durch zweistellige Zahlen, wobei die erste die Meßfläche und die zweite die Einbautiefe der Kerze kennzeichnet. Die Numerierung der Versuchsflächen entspricht derjenigen Varianten. Die Zweitziiffern 1 und 2 sind die beiden Wiederholungen der Einbautiefe 50 cm, 3 und 4 die der Einbautiefe 100 cm und 5 und 6 die der Einbautiefe 200 cm. Den Einbau der Saugschläuche zeigt die Abbildung 6, die den Einbau einer keramischen Saugkerze auf 50 cm Tiefe und einer Frostschutzabdeckung zeigt die Abbildung 7. Einen Überblick über einen der Geräteschutzkästen und die Anlage der Saugvorrichtung geben die Abbildungen 8 und 9.

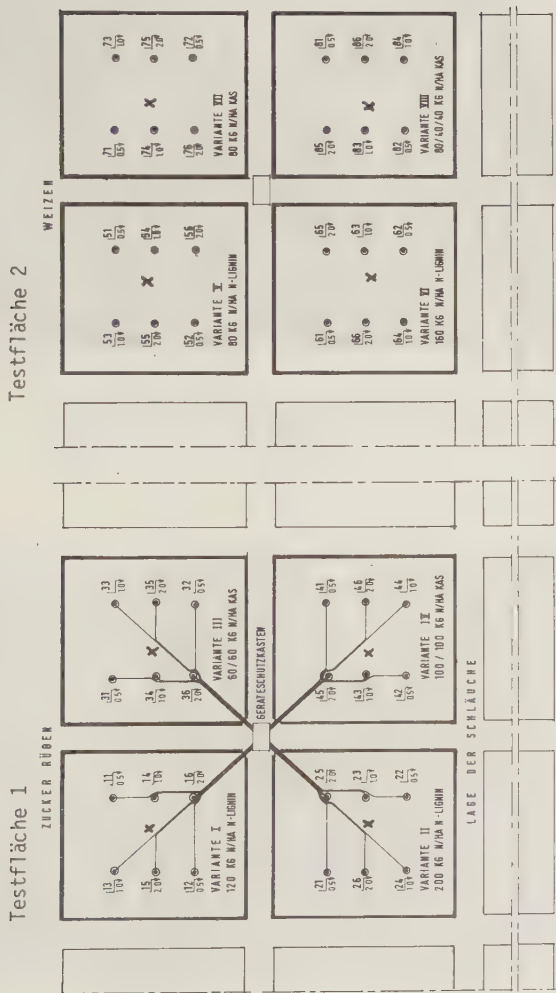


Abb. 5: Aufbau der Anlage zur Entnahme von Bodenlösungen. Verteilung der Schlauchleitungen um einen Geräteschutzkasten. Lage, Numerierung und Tiefe der Saugkerzen in den Meßflächen. Lage der Meßstellen für die Messung der Bodenfeuchte mit einer Neutronensonde (x).

Die Verteilung der Fruchtarten, der Stickstoffdünger N-Lignin bzw. Kalkmonsalpetter (KAS) und der Höhe der Stickstoffgabe in Kg N/ha sind für das Versuchsjahr 1974 eingetragen.

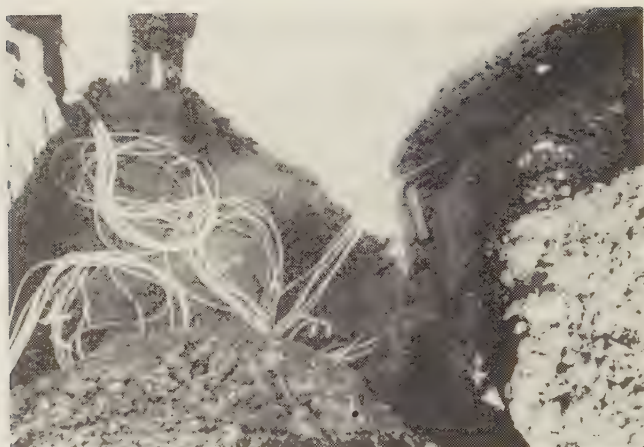


Abb. 6: Einbau der Saugschläuche zur zentralen Entnahmestelle



Abb. 7: Einbau einer keramischen Kerze in 0,5 m Tiefe
Saugschlauch unter Frostschutzabdeckung

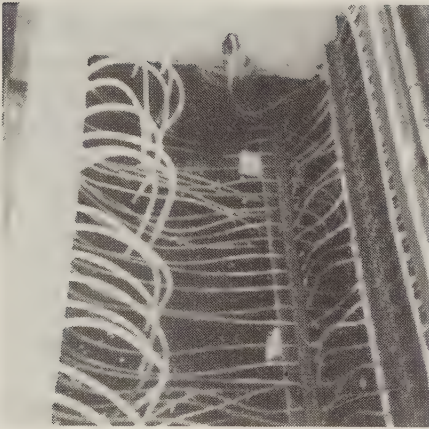


Abb. 8: Inneres eines Geräteschutzkastens mit den Saugschläuchen von 24 Meßstellen



Abb. 9: Gesamtansicht der Saugvorrichtung in einem Geräteschutzkasten

3.2 Arbeitsweise der Anlage zur Entnahme von Bodenlösungen

Die Saugkerze nach CZERATZKI (1971) (Hersteller: Firma Schumacher, Bietigheim) besteht aus keramischem Material mit einer mittleren Porengröße von $0,8 \mu$. Die ungefähre Länge der Saugkerzen beträgt 300 mm, der innere Durchmesser 26 mm, der äußere Durchmesser 40 mm und das Innenraumvolumen etwa 220 ccm. Wie in Abbildung 10 dargestellt, ist die Kerze über einen Saugschlauch (2) (Durchmesser 7 - 11 mm) mit dem Unterdruckbehälter (12) verbunden. In den Saugschlauch wurde ein Schwimmventil (8) eingebaut. Erfahrungsgemäß schließen diese Ventile nicht immer exakt. Um in solchen Fällen einen Überlauf des Probenwassers in ein Nachbarventil zu verhindern, ist auf Vorschlag von Söchtig oberhalb eines jeden Ventils zusätzlich ein U-Rohr eingebaut worden (9). Durch diese Einrichtung wird eine Vermischung verschiedener Bodenwasserproben verhindert. Im Vakuumschlauch (2) liegt der Förderschlauch (3) (Durchmesser 3 - 5 mm), der die Kerze mit einem Gefäß zum Auffang des Bodenwassers (10) verbindet. Das untere Ende des Förderschlauches reicht bis zum Grunde der Kerze, das obere Ende steht in Verbindung mit einem Winkelröhrchen (6), das über einen Stopfen (5), ein Blindverlängerung des Saugschlauches (3) verschließt. Für die Probeentnahme ist der freie Schenkel des Röhrchens mit dem Auffanggefäß (10) verbunden. Dieses kann nach Bedarf mit einem Schlauch an das Auffanggefäß für den Unterdruckbehälter (11) angeschlossen werden.

3.3 Entnahme von Bodenlösungen

Im Abstand von 14 Tagen wird an eine der beiden Wasserentnahmeanlagen ein Vakuum von ca. 0,5 atü angelegt und für 24 Stunden belassen. Die Wasserentnahmeanlagen in den beiden Teilflächen werden im Abstand von 2 Tagen evakuiert, um den Anfall der Proben zu verteilen. Nach 24 Stunden wurden die durch die einzelnen Kerzen entzogenen Bodenlösungen in den Auffanggefäßen abgenommen. In dieser Zeit wird aus dem die Saugkerzen umgebenden Boden das Wasser, das mit einer geringeren Saugspannung als 0,5 atü gehalten wird, entzogen. Die Bodenlösungen werden sofort ins Laboratorium gebracht und auf Ammonium-, Nitrat- und Nitritstickstoff und den organisch gebundenen Kohlenstoff untersucht. Auch die pH- und Leitfähigkeitsmessung wird möglichst sofort nach der Entnahme durchgeführt. Der Rest der Lösungen wird bis zur Untersuchung auf die anderen Elemente bei $+4^{\circ}\text{C}$ im Kühlschrank aufbewahrt.

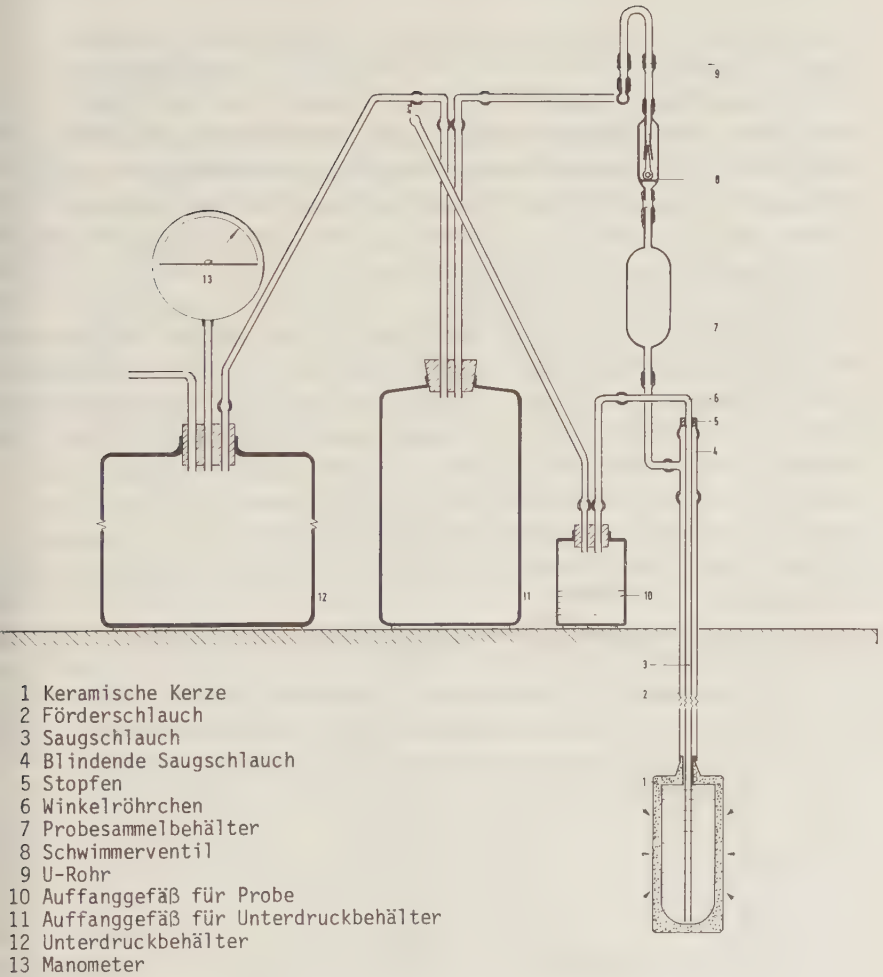


Abb. 10: Saugvorrichtung für kapillar gebundenes Bodenwasser (Saugkerze)
 nach CZERATZKI, 1971 (verändert).

3.4 Einbau der Meßstellen für die Messung der Bodenfeuchte mit einer Neutronensonde

Zu Beginn des Versuches war angenommen worden, daß aus den entnommenen Volumina an Bodenlösung, die mit 0,5 atü Unterdruck entzogen werden, auf die vorliegende Menge an Bodenwasser in den Entnahmetiefen geschlossen werden könnte. Da die Gesamtanlage aber nicht vakuumdicht gemacht werden konnte, mußte ein anderes Verfahren zur Bestimmung der Bodenfeuchte angewandt werden. Es wurde hierfür die Messung mit einer Neutronensonde ausgewählt. Eine Beschreibung dieser Methode und die Eichung des Meßverfahrens wird in Abschnitt 4.1.2, Seite 25 beschrieben.

Um die Neutronensonde in den Boden einführen zu können, wurden Aluminiumrohre von 220 cm Länge und einem Innendurchmesser von 40 mm, der dem Außendurchmesser der Sonde von 40 mm annähernd entspricht, in die Versuchsflächen eingebracht. Die Lage der Meßstellen in den Testflächen 1 und 2 ist in Abbildung 5 durch Kreuze markiert. Mit einem Bohrstock, dessen Durchmesser dem Außendurchmesser der Aluminiumrohre entsprach, wurde ein Bohrloch vorgebohrt, in das die Aluminiumrohre eingeführt wurden. Um ein Verschmutzen der Rohre zu verhindern, wurden sie zwischen den Messungen mit einem Stopfen verschlossen.

Beim Vorbohren wurden gleichzeitig Bodenproben aus bestimmten Tiefen entnommen, die einerseits zur Bestimmung der Bodenfeuchte durch Trocknung sowie zur Eichung der Feuchtemessung mit der Neutronensonde und andererseits zu der in Abschnitt 2.2.2 beschriebenen Korngrößenanalyse verwendet wurden.

4. Methoden

4.1 Messung der Bodenfeuchte

4.1.1 Bestimmung des Wassergehaltes des Bodens durch Trocknung

Ein Anteil von ca. 50 g der Bodenproben wird sofort nach der Entnahme eingewogen, 24 Stunden bei 105 °C im Trockenschrank getrocknet, nach Abkühlen auf Zimmertemperatur in einem Exsikkator gewogen, nochmals 2 Stunden bei 105 °C nachgetrocknet und erneut gewogen. Der prozentuale Wassergehalt wird auf 100 g Trockengewicht berechnet.

Auf die gleiche Weise wurden die von der Agrarmeteorologischen Forschungsstelle Braunschweig-Völkenrode angegebenen Daten, die bei der Darstellung der Ergebnisse zum Vergleich mitverwendet wurden, bestimmt.

1.1.2 Messung der Bodenfeuchte mit einer Neutronensonde und Eichung der Neutronensonde

Zur Messung der Bodenfeuchte im Abstand von 2 - 3 Wochen wurde die Neutronen-sonde zur Feuchtemessung der Firma Nuclear-Chicago verwendet. Das Meßverfah-ren beruht auf folgenden physikalischen Vorgängen. Aus einer Strahlungsquelle, der Neutronen-sonde, werden schnelle Neutronen in den die Quelle umgebenden Boden ausgestrahlt. Diese schnellen Neutronen geben um so mehr Energie ab, je leichter die getroffenen Kerne sind. Die stärkste Energieminderung wird durch Wasserstoffkerne bewirkt. Bei den Messungen im Boden werden durch die Wasserstoffkerne der Wassermoleküle die Neutronen um so stärker abgebremst, je höher der Wassergehalt ist. Die gebremsten Neutronen werden mit einer Indikatorfolie aus Indium gemessen (Abbildung 11).

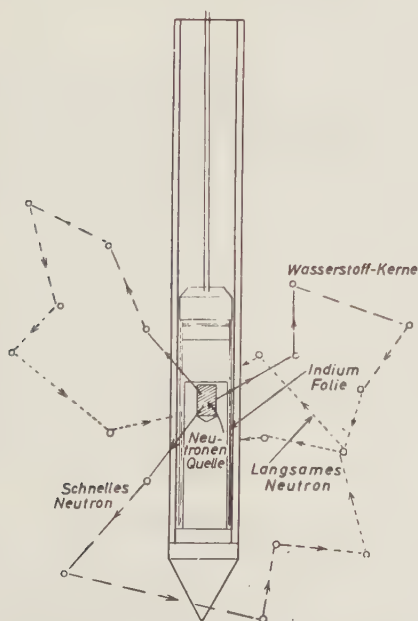


Abb. 11: Prinzip der Messung der Bodenfeuchte mit der Neutronen-sonde (nach LINSER und KAINDL, 1960, Seite 232).

Bodenart und Bodentyp sollen nach VAN BAVEL und UNDERWOOD (1955) sowie STONE et al. (1955) keinen Einfluß auf die Meßergebnisse haben. Jedoch weisen die in der "Technical Reports Series, Nr. 112, IAEA, Wien 1970" zusammengefaßten Ergebnisse einen Einfluß der Bodendichte, der Wasserstoffionen im Austauschkomplex, des Gehaltes an organischer Substanz und anderem nach. Aus diesem Grunde und da die Meßwerte, die bei den Messungen mit einer Neutronensonde erhalten werden, nicht in % Wasser angegeben werden, müssen diese Meßdaten für und gegen die vorliegenden Bodenbedingungen geeicht werden.

Eine Voreichung der Neutronensonde wurde in einem mit Sand gefüllten 200 Liter Benzinfäß durchgeführt. Der Wassergehalt des Sandes wurde durch Zugabe berechneter Wassermengen eingestellt. Der Anstieg der gemessenen Impulse war mit ansteigendem Wassergehalt linear und betrug ca. 1 000 Impulse/Gewichtsprozent Wasser, jedoch nur bis ca. 11 %. Bei höheren Wassergehalten traten deutliche Abweichungen auf. Es wurden sogar bei steigenden Wassergehalten abnehmende Meßwerte erhalten, was auf eine Übersteuerung der Meßeinrichtung hinweist.

Da bei diesem Eichverfahren aber Einflüsse der Meßanordnung, wie unzureichender Abstand vom Zementfußboden oder von der Bodenoberfläche und möglicherweise nicht ausreichende Dicke des Sandmantels um das Aluminiumführungsrohr einen Einfluß ausüben können und außerdem die Besonderheiten der Profile in den Versuchsflächen nicht berücksichtigt werden, wurde in den Versuchsflächen selber eine Eichung wie folgt durchgeführt:

Beim Einbau der Aluminiumführungsrohre in die Versuchsflächen wurden, wie oben erwähnt, Bodenproben entnommen und der Feuchtigkeitsgehalt durch Trocknung bestimmt. Sofort nach dem Einsatz der Rohre wurde die erste Messung mit der Neutronensonde durchgeführt. Der Einbau der Rohre und die erste Messung mit der Neutronensonde erfolgte für die Versuchsflächen 1 - 4 am 11. Juli 1974 und für die Versuchsflächen 5 - 8 am 4. Februar 1975.

Die Korrelationskoeffizienten verschiedener mathematischer Formulierungen der Beziehung zwischen dem durch Trocknung bestimmten Wassergehalt und den Werten der Neutronensondenmessung wurden berechnet. Da die Veränderung des Wassergehaltes des Bodens in Abhängigkeit von der Zeit aus den laufenden durchgeführten Neutronensondenmessungen berechnet werden sollte, wurden diese Meßwerte als x und die Wassergehalte als y eingegeben.

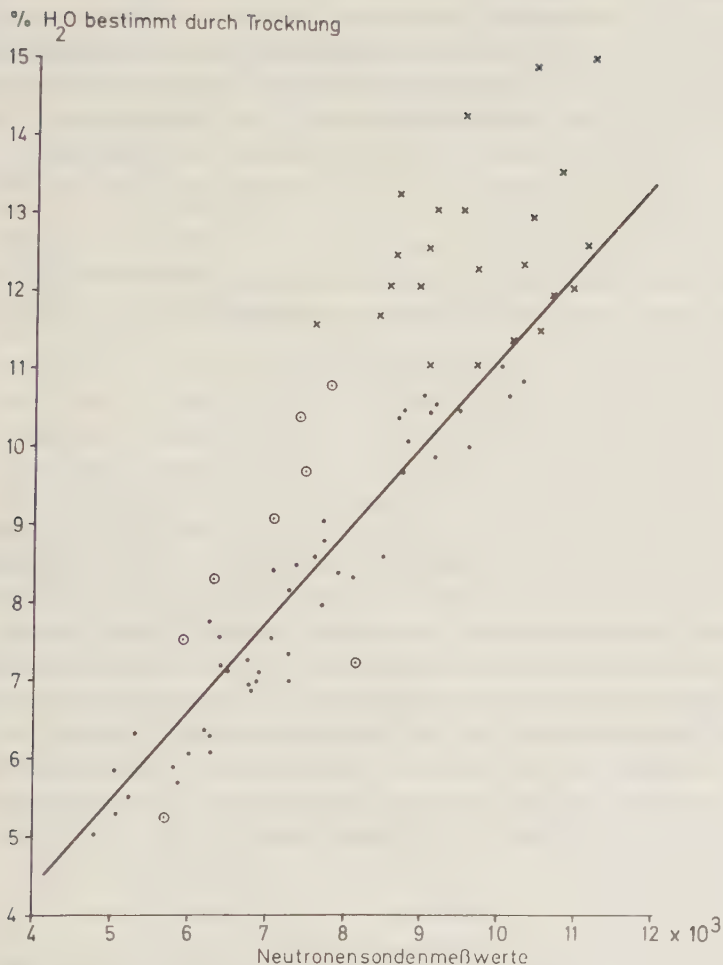


Abb. 12: Vergleich der durch Trocknung bestimmten Wassergehalte in entnommenen Bodenproben (y) mit den Werten der Feuchtemessung mit einer Neutronensonde (x) am Entnahmeort der Bodenproben.

$$\text{Regressionsgerade } y = 1,147 x - 0,271$$
$$r = 0,815$$

Die zu den Berechnungen verwendeten Wertpaare sind graphisch gegeneinander in Abbildung 12 aufgetragen.¹⁾ Werden alle zur Eichung zur Verfügung stehenden Meßwertpaare zur Berechnung der linearen und der quadratischen Regression verwendet und die Abweichung über 15 % zwischen den berechneten und den durch Trocknung bestimmten Wassergehalten ermittelt, ergaben sich mehr als 25 % Abweichungen. Bei 80 % dieser Abweichungen werden zu niedrige Wassergehalte aus den Meßwerten der Neutronensonde berechnet. Diese stärkeren Abweichungen treten vor allem bei Wassergehalten über 11 % auf. Aus diesem Grunde sind in Abbildung 12 für die Meßwertpaare 2 verschiedene Zeichen verwendet, und zwar ein Punkt für die Wassergehalte bis 11 % und ein Kreuz für höhere Wassergehalte.

Mit den Meßwertpaaren unter 11 % Wassergehalt wurden die Korrelationsrechnungen erneut durchgeführt. Die erhaltenen Werte sind:

Kurventyp	Korrelations- koeffizient	a	b
1. $y = a + bx$	0,815	-0,271	1,147
2. $y = a^{bx}$	0,805	-2,751	0,145

Eine Berechnung der Abweichungen über 15 % von der berechneten linearen Regression ergibt 8 Abweichungen, die in der Abbildung 12 durch Umkreisung gekennzeichnet sind. Zwei dieser Abweichungen liegen unterhalb der Regressionsgeraden, 6 oberhalb derselben. Das heißt, daß auch in diesem Bereich ein höherer Anteil von Abweichungen auf zu niedrigen aus der Neutronensondenmessung berechneten Wassergehalten beruht. Weder die negativen noch die positiven Abweichungen lassen sich mit Unterschieden in der Bodenart oder in der Meßtiefe korrelieren, so daß sie als statistische Abweichung betrachtet werden müssen. Wird mit den bereinigten Werten eine erneute Korrelationsrechnung durchgeführt, ergeben sich folgende Werte:

Kurventyp	Korrelations- koeffizient	a	b
1. $y = a + bx$	0,917	-0,547	1,164
2. $y = a^{bx}$	0,907	2,663	0,146

¹⁾ Die Meßwerte sind im Anhang in Tabelle 15 zusammengestellt.

Der Korrelationskoeffizient wird deutlich höher, aber der Durchgang durch den Nullpunkt des Koordinatensystems ist bei der linearen Regression (Kurvtyp 1) nicht mehr so gut wie nach der ersten Regressionsrechnung. Wird mit den beiden Formeln der linearen Regression der Wassergehalt berechnet, ergibt sich nur ein Unterschied von 0,1 Gewichtsprozent im Wassergehalt. Da außerdem die Abweichungen über 15 % als statistisch verteilt zu betrachten sind, wird für die Berechnung des Wassergehaltes aus den laufenden Neutronensondenmessungen, die mit den nicht korrigierten Werten erhaltene, in der Abbildung 12 angegebene lineare Regression verwendet.

Trotz der Übersteuerung der Meßeinrichtung bei Wassergehalten über 11 % werden mit dieser Berechnung die wesentlichen Änderungen der Wassergehalte im Boden zwischen dem Welkepunkt und über die Feldkapazität hinaus mit ausreichender Sicherheit erfaßt.

Um den Einfluß der Bodendichte auf die erhaltenen Meßwerte zu überprüfen, wurde nacheinander in den verschiedenen Meßstellen einmal eine Feuchtemessung und zum anderen eine Dichtemessung mit der Neutronensonde vorgenommen. Beide Meßwertreihen wurden einer Korrelationsrechnung unterworfen und erbrachten einen Korrelationskoeffizienten von -0,56. Da demnach keine Korrelation zwischen Dichte- und Feuchtemessung besteht, ist keine Korrektur der Feuchtemeßwerte notwendig.

Um die Reproduzierbarkeit der Meßwerte, die mit der Neutronensonde erhalten werden, festzustellen, wurde eine Reihe von Messungen mehrfach in den verschiedenen Versuchsflächen durchgeführt, und zwar innerhalb eines gewissen zeitlichen Abstandes, aber doch so kurz, daß keine Trocknung oder Befeuchtung innerhalb der Meßzeitdifferenz eingetreten sein konnte. Werden alle Meßwerte, die in Doppelmessungen erhalten wurden, verrechnet, ergibt sich eine mittlere prozentuale Standardabweichung von 1,13 %. Die Meßwerte sind also gut reproduzierbar.

4.2 Bestimmung von Bestandteilen der Bodenlösung

4.2.1 Ammonium- und Nitratstickstoff

Die Gehalte an diesen Stickstoffformen wurden durch Wasserdampfdestillation nach BREMNER (1965) direkt aus 50 ml der entzogenen Bodenlösung bestimmt.

Zuerst wird der Ammoniumstickstoff mit Magnesiumoxid in eine Borsäurevorlage destilliert. Nach anschließender Reduktion des Nitratstickstoffs mit Devarda'scher Legierung zu Ammoniak erfolgt die Bestimmung des Nitratstickstoffs in gleicher Weise. Zur Destillation wird eine Vollglasapparatur verwendet, bei der ein 100 ml Rundkolben mit Schliff angesetzt werden kann. An den Schliffkolben muß ein Seitenhals angesetzt sein, um nach der Destillation des Ammoniums mit Magnesiumoxid die Devarda'sche Legierung zusetzen zu können. Die Rücktitration erfolgt mit 0,005 n Schwefelsäure.

4.2.2 Nitritstickstoff

Die Bestimmung des Nitritstickstoffs wurde kolorimetrisch nach einer modifizierten Methode von GRIESS-ILOSVAJ durchgeführt. Das Nitrit diazotiert das zugesetzte Sulfonamid, das nach Zusatz von N-(1-Naphthyläthylendiammondichlorid) einen roten Farbkomplex bildet, dessen Farbtiefe photometrisch zur Konzentrationsbestimmung gemessen wird.

4.2.3 Organisch gebundener Kohlenstoff

Die Bestimmung des Kohlenstoffs erfolgte nach der Verbrennung mit Schwefelsäure und Kaliumdichromat (RIEHM und ULRICH, 1954). Ein Aliquot der Bodenlösung wird zur Trockene eingedampft, mit Schwefelsäure und Kaliumdichromat versetzt und 90 Minuten bei 110 °C im Trockenschrank gehalten. Nach Auffüllen auf ein genaues Volumen wird die Extinktion automatisch mit der Braun-Systematik der Fa. Braun-Melsungen und Zeiss-Oberkochen bei 590 nm gegen einen Blauwert gemessen.

4.2.4 Phosphat

Die Phosphatbestimmung erfolgte ebenfalls direkt aus den Bodenlösungen, im Jahre 1973 und 1974 nach dem Photo-Rex-Verfahren. Die Extinktion wurde ebenfalls mit der Braun-Systematik bei 725 nm gemessen.

Im Jahre 1975 wurde die Phosphatbestimmung im chemischen Untersuchungslaboratorium der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft mit dem Autoanalyser II (Technicon) nach der Ammoniummolybdatmethode durchgeführt. Hierbei wird bei Anwesenheit von Phosphat die sich in salpetersaurer Lösung mit Ammoniummolybdat bildende Molybdänphosphorsäure durch Ascorbinsäure zu einem blauen Molybdänkomplex reduziert. Gemessen wurde im Bereich von 0 - 5 ppm Phosphor.

4.2.5 Calcium und Magnesium

Die beiden Elemente wurden mit dem Atomabsorptionsspektralphotometer 440 der Fa. Beckman-Instruments im chemischen Untersuchungslaboratorium der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft gemessen. Die Messung des Calciums erfolgte in der Acetylen/Luft-Flamme bei einer Wellenlänge von 422,7 nm im Meßbereich von 0 - 20 ppm. Hierfür wurden die Probenlösungen im Verhältnis 1 : 25 verdünnt. Die Messung des Magnesiums wurde in der Acetylen/Luft-Flamme bei der Wellenlänge von 285,2 nm im Meßbereich von 0 - 3 ppm durchgeführt. Auch in diesem Falle wurde die Probenlösung im Verhältnis 1 : 25 verdünnt.

4.2.6 Kalium

Die Bestimmung des Kalium erfolgte emissionsspektralphotometrisch mit dem Flammenphotometer der Fa. Eppendorf ebenfalls im chemischen Untersuchungslaboratorium der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft. Gemessen wurde die Lösung direkt im Bereich von 0 - 100 ppm in der Propan/Luft-Flamme.

4.2.7 pH und Leitfähigkeit

Die Bestimmung des pH-Wertes im Sickerwasser wurde mit einer Glaselektrode und einem Digital-pH-Meter E 500 der Fa. Metrohm, Herisau, durchgeführt. Die Eichung wurde mit Pufferlösungen bei pH 4 und pH 7 vorgenommen.

Die Messung der Leitfähigkeit erfolgte ebenfalls in der Bodenlösung direkt. Für die Messung wurde ein Meßgerät des Typs CDM 2c der Fa. Radiometer, Kopenhagen, verwendet.

5. Ergebnisse

5.1 Veränderungen der Bodenfeuchte im Verlaufe des Versuchszeitraumes

Die Erfassung der Veränderung der Bodenfeuchte im Verlauf des Versuchszeitraumes ist für die Überlegungen über die Verlagerung von Nährstoffen im Wurzelraum und aus dem Wurzelraum heraus in tiefere Bodenschichten, gegebenenfalls in das Grundwasser, notwendig. Hierfür werden einerseits die Meßwerte

der Agrarmeteorologischen Forschungsstelle Braunschweig-Völkenrode, andererseits die eigenen Wassergehaltsbestimmungen durch Trocknung sowie durch Feuchtemessungen mit der Neutronensonde verwendet.

5.1.1 Veränderungen, gemessen durch Trockengewichtsbestimmungen

Nach den Meßergebnissen der Agrarmeteorologischen Forschungsstelle Braunschweig sind die Niederschläge in mm/Tag und die nach Probennahme und Trocknung gemessenen Wassergehalte (in % bezogen auf Trockengewicht) für die Tiefe 0 - 10 und 40 - 50 cm in der Abbildung 13 für das Jahr 1973 zusammenge stellt. Die beiden Folgejahre 1974 und 1975 unterscheiden sich nur unwesentlich von dem hier gezeigten Jahr 1973, wie aus den Angaben der Tabelle (S. 16) über die Niederschläge, die Verdunstungsbeanspruchung und die klimatische Wasserbilanz und den Abbildungen 38 u. 39 im Anhang hervorgeht.

Die Wassergehalte folgen in allen drei Jahren einem Jahresrhythmus mit hohen Gehalten im Winter und niedrigen Gehalten im Sommer. Sie sind abhängig von der Verdunstungsbeanspruchung und dem Wasserverbrauch durch die wachsende Pflanze. Feinvariationen des Wassergehaltes folgen der Niederschlagsmenge. Bei 0 - 10 cm Tiefe sofort, und in größerer Tiefe - hier aufgezeichnet für 40 und 50 cm - mit einer Zeitverzögerung, die vom Ausgangswassergehalt und dem Zeitpunkt der Niederschläge abhängt. Diese Zeitverzögerung beträgt z. B. in den ersten September/October 1973 bei einem Wassergehalt von 3 % zwischen 0 und 40 und 50 cm. ca. 30 Tage. Im Mai 1973 dagegen beträgt diese Zeitverzögerung bei einem Wassergehalt von ungefähr 10 % nur wenige Tage.

5.1.2 Wassergehalte, bestimmt mit der Neutronensonde

Die mit der Neutronensonde erhaltenen Meßwerte wurden mit der Formel für die Regressionsgerade, wie sie in Abschnitt 4.1.2 beschrieben wurde, auf Wassergehalte umgerechnet. Bereits bei der Eichung der Neutronensonde und dem direkten Vergleich der Meßergebnisse wurde festgestellt, daß bei einem hohen Wassergehalt die Neutronensonde keine reelle Zählrate mehr anzeigt. Die niedrige Zählrate scheint jedoch für die Auswertung der Ergebnisse hinsichtlich einer Wasserbewegung, d. h. einer Verlagerung von Nährstoffen im Boden, ohne größere Bedeutung zu sein.

Aufgrund der mittleren Werte für den Welkepunkt (von ungefähr 2,5 %) und der Feldkapazität (von ungefähr 10,5 %) wurde für eine Darstellung der mit der Neutronensonde bis zu einer Tiefe von 2 m gemessenen Wasserbewegung fol-

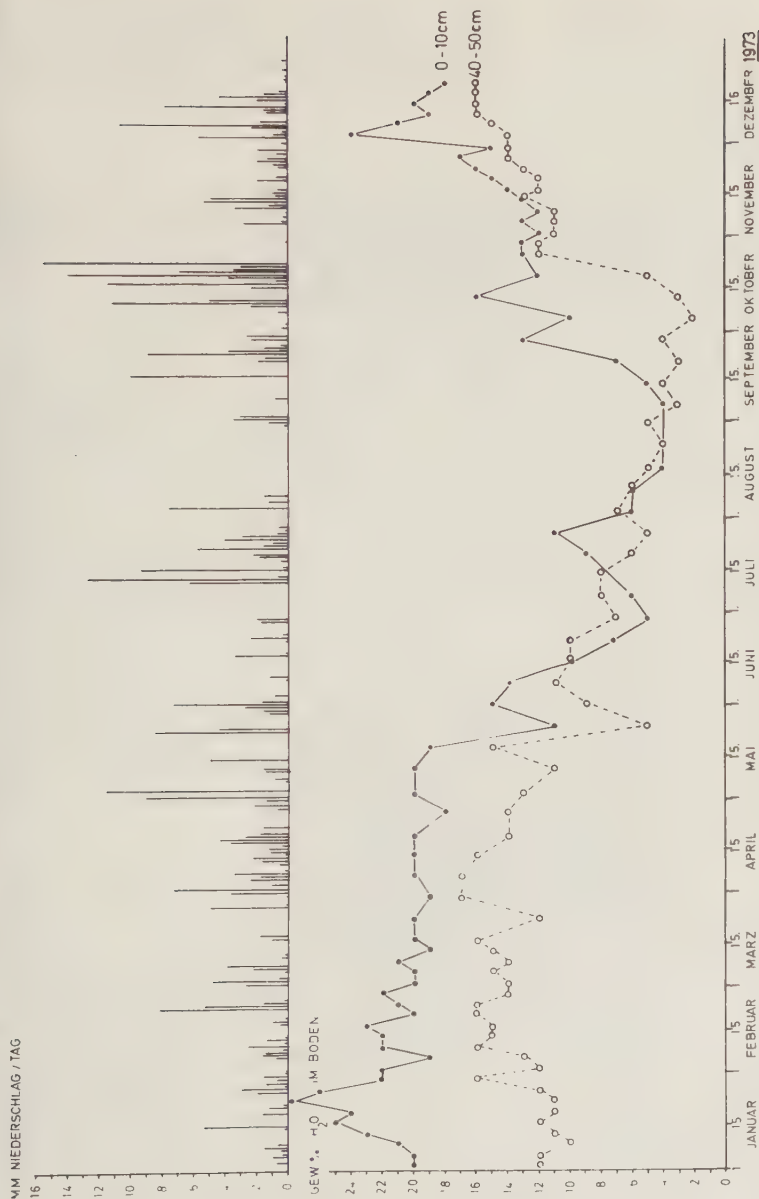


Abb. 13: Niederschläge in mm/Tag und Wassergehalte in Gewichtsprozent im Boden in 0 - 10 und 40 - 50 cm Tiefe nach Angaben der Agrarmeteorologischen Forschungsstelle, Braunschweig, für das Jahr 1973.

Unterteilung gewählt: 1. unter 3 %, d. h. unter dem Welkepunkt, 2. der Wassergehaltsbereich zwischen dem Welkepunkt und der Feldkapazität, in 3 Gruppen unterteilt, und 3. alle Wassergehalte, die über der Feldkapazität von ungefähr 10,5 % liegen. Die einzelnen Bereiche sind durch unterschiedliche Schraffur gekennzeichnet.

Die Daten für die Wasserbewegung (Abbildung 14) wurde aus den Mittelwerten aller Messungen, die zur gleichen Zeit in den verschiedenen Meßflächen des Versuches durchgeführt worden waren, erstellt. (Die Mittelwerte und Standardabweichungen sind im Anhang in den Tabellen 16 u. 17).

Die Messungen zeigen eindeutig, daß 1974 von Juli bis Mitte Oktober keine Wasserbewegung nach unten sondern eine mit der Zeit nach unten hin zunehmende Austrocknung des Bodens eintritt. Ab Mitte Oktober wird dann eine mit den Niederschlägen, wie sie im oberen Teil der Abbildung dargestellt sind, zunehmende Befeuchtung beobachtet. Diese erfolgt fast bis zur Feldkapazität. Die darunterliegende Bodenschicht wird nur schwach angefeuchtet. Die stärkeren Niederschläge im Dezember führen zu einer weiteren Befeuchtung des Bodens bis auf Feldkapazität in der ganzen durch Messung erfaßten Bodentiefe von 2 m. In der schon im November auf Feldkapazität befeuchteten Schicht bis 80 cm Tiefe wird durch die Niederschläge im Dezember eine Befeuchtung über die Feldkapazität hinaus erzielt. Die Niederschläge des Januar vertiefen diese Schicht stärkerer Durchfeuchtung, die Anfang März eine Tiefe von 1,20 m erreicht. Ob auch eine stärkere Anfeuchtung von Bodenschichten von mehr als 2,0 m Tiefe erfolgt ist, konnte durch die Messung nicht erfaßt werden.

Im darauffolgenden Jahr beginnt die Austrocknung in den oberen Schichten des Bodens im Juni. Die stärkere Austrocknung in ungefähr 1,50 m Tiefe dürfte darauf zurückzuführen sein, daß die relativ niedrigen Niederschlagsmengen in den Wintermonaten nicht zu einer ausreichenden Auffüllung des Wasservorrates des Bodens ausgereicht haben. Eine stärkere Austrocknung Grund der Verdunstungsbeanspruchung und des Wasserverbrauchs durch die wachsenden Pflanzen ist dann im Juli, August und September zu beobachten. Diese Austrocknung setzt sich wie im Vorjahre in tiefere Bodenschichten in fortschreitender Zeit im Jahre fort. Die geringen Niederschläge im November und Dezember des Jahres 1975 führen nur zu einer Anfeuchtung in den oberen Bodenhorizonten, die sich im Oktober schwach abzuzeichnen beginnt.



Abb. 14: Niederschläge (N) und Verdunstungsbeanspruchung (V) in mm/Monat unter besonderer Berücksichtigung der monatlichen Unterschiede und die mittleren Wassergehalte im Bodenprofil gemessen mit der Neutronenprobe von Juli 1974 bis März 1976.

und durch die November/Dezember-Niederschläge schwach zunimmt; erst die starken Niederschläge im Januar führen zu einer eindeutig stärkeren Befeuchtung des Bodens über die Feldkapazität hinaus bis zu einer Tiefe von ungefähr 1 m.

Für die Darstellung der Wassergehalte des Bodens in Abbildung 14 wurden für das Jahr 1974 die Mittelwerte aus den 4 Meßstellen in der Testfläche von Februar 1975 ab die Mittelwerte aus allen 8 Meßstellen in beiden Testflächen verwendet. Um aufzuzeigen, wie stark die verschiedenen Meßwerte den jeweiligen Varianten voneinander abweichen, sind in der folgenden Abbildung 15 auf der linken Seite die durch Trockengewichtsbestimmung ermittelten Wassergehalte, in der Mitte die durch Neutronensondenmessung am 11. Juli 1974 ermittelten und im rechten Teil der Abbildung die am 4. Februar 1975 durch Probenahme und durch Bestimmung der Feuchtigkeit durch Trocknung ermittelten Daten einander gegenübergestellt. Zur Kennzeichnung der einzelnen Wassergehalte wurden die gleichen Schraffuren verwendet wie in Abbildung 14. Es ist zu erkennen, daß die Wassergehalte und damit auch die Wasserbewegung in den einzelnen Versuchsflächen, obwohl die Böden auf Grund der Korngrößenanalyse weitgehend homogen zu sein schienen, doch deutliche Unterschiede aufweisen.

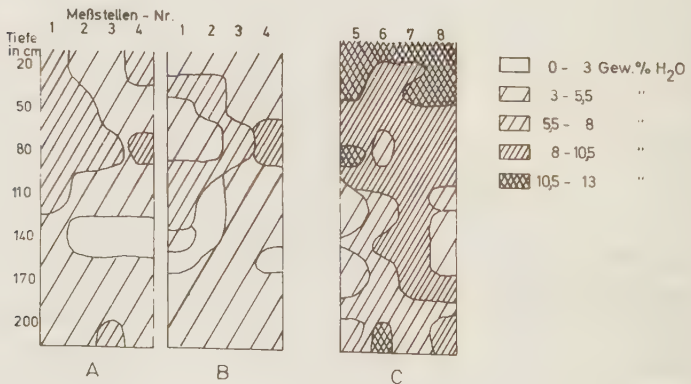


Abb. 15: Unterschiede in den Wassergehalten der verschiedenen Meßflächen

- A: Trockengewichtsbestimmung am 11.07.1974
B: Neutronensondenmessung am 11.07.1974
C: Trockengewichtsbestimmung am 04.02.1975

Die mit den Mittelwerten der Messungen in allen Versuchsflächen in Abbildung 14 aufgezeichnete Wasserverteilung stellt die allgemeine Entwicklung der Wassergehalte innerhalb des Versuchszeitraumes dar. Sie läßt keine Beeinflussung des Wassergehaltes im Boden durch die angebaute Frucht oder die Düngung erkennen. Um zu prüfen, ob die beiden genannten Faktoren einen Einfluß auf die Wassergehalte ausübten, wurden die Meßwerte entsprechend zusammengestellt. Bei dieser Zusammenstellung kann der Einfluß der angebauten Feldfrüchte nur für das Jahr 1975, der Einfluß der Düngemittel aber für 1974 und 1975 aufgezeigt werden.

In Tabelle 4 werden die mittleren Wassergehalte der Versuchsflächen 1 - 4 unter Sommerweizen denen in den Versuchsflächen 5 - 8 unter Zuckerrüben gegenübergestellt.

Tab. 4: Wassergehalte unter Sommerweizen und Zuckerrüben im Jahre 1975 (Mittelwerte aus den Messungen in den 4 Düngungsvarianten unter einer Frucht).

Tiefe in cm	23.04.	20.05.	12.06.	gemessen am					
				03.07.	30.07.	22.08.	19.09.	13.10.1975	
unter Sommerweizen									
20	9,5	7,3	3,0	3,0	3,7	3,5	3,4	6,2	
35	9,3	7,5	3,9	3,1	3,1	3,2	3,1	4,6	
50	9,8	8,1	5,3	5,2	3,8	3,9	3,9	4,3	
65	10,4	9,2	7,2	6,6	5,0	5,2	5,0	5,0	
80	10,5	9,7	8,4	6,2	5,6	5,5	5,5	5,3	
95	8,8	8,0	7,7	6,1	4,9	5,0	5,0	5,3	
unter Zuckerrüben									
20	11,9	11,5	10,0	8,5	5,2	3,4	3,1	6,7	
35	10,1	9,4	7,9	6,6	4,8	3,4	3,0	3,9	
50	9,5	8,9	7,7	7,0	5,8	4,3	3,7	3,8	
65	10,3	9,6	8,8	8,3	7,3	5,4	4,8	4,7	
80	11,1	10,9	10,4	10,0	9,3	6,9	5,8	5,5	
95	10,4	9,9	9,8	8,0	9,0	7,2	5,8	5,6	

Während die Wassergehalte am 23.04.1975 unter Sommerweizen nur wenig niedriger sind als unter Zuckerrüben, entzieht der Sommerweizen bis zum 12.06. erheblich mehr Wasser als die Zuckerrüben. Erst nach der Ernte des Sommerweizens wird durch den weiteren Wasserverbrauch der Zuckerrüben am 22.08. in beiden Testflächen ein vergleichbarer Wassergehalt zwischen 20 und 50 cm Tiefe und am 19.09. auch zwischen 65 und 95 cm Tiefe erreicht.

Ob in den Trockenjahren, wie sie in der vorliegenden Arbeit über die ganze Versuchszeit waren, durch diese unterschiedliche Wasserverteilung auch ein Unterschied in der Verteilung der Nährstoffe vorliegt, ist in den folgenden Abschnitten zu prüfen.

Wird aus den Wassergehalten der jeweilige Wasserverlust für gewisse Zeitabschnitte unter Verwertung der erhaltenen Meßergebnisse jeweils für Bodenschichten von 15 cm Stärke um die einzelnen Meßpunkte berechnet, so ergibt sich der in der folgenden Tabelle 5 aufgeführte Wasserverbrauch in m^3 und den beiden Früchten in den einzelnen Schichten und als Summe für den 12. und den 30.07., den 22.08. und den 19.09.

Tab. 5: Kalkulation der Wasserverluste (WV) in m^3/ha unter Sommerweizen und Zuckerrüben im Jahre 1975 (Durchschnitt aller Meßflächen)

Tiefe in cm	% H ₂ O 23.04.	% H ₂ O 12.06.	WV ¹⁾	% H ₂ O 30.07.	WV ¹⁾	% H ₂ O 22.08.	WV ¹⁾	% H ₂ O 19.09.
Sommerweizen								
20	9,5	3,0	146	3,7	-16	3,5	5	3,4
35	9,3	3,9	122	3,1	18	3,2	-2	3,1
50	9,8	5,3	101	3,8	34	3,9	-2	3,9
65	10,4	7,2	72	5,0	50	5,2	-5	5,0
80	10,5	8,4	47	5,6	63	5,5	2	5,5
95	8,8	7,7	25	4,9	63	5,0	-2	5,0
	Ø 9,7	Ø 5,9	513 m^3	Ø 4,2	212 m^3	Ø 4,4	-4 m^3	Ø 4,3
Zuckerrübe								
20	11,9	10,0	43	5,2	108	3,4	41	3,1
35	10,1	7,9	50	3,8	70	3,4	32	3,0
50	9,5	7,7	40	5,8	43	4,3	34	3,7
65	10,3	8,8	34	7,3	34	5,4	43	4,8
80	11,1	10,4	16	9,3	25	6,9	54	5,8
95	10,4	9,8	13	9,0	18	7,2	41	5,8
	Ø 10,6	Ø 9,1	Ø 220 m^3	Ø 6,7	298 m^3	Ø 5,1	245 m^3	Ø 4,4

- 1) Berechnung des Wasserverlustes WV:
 Eine Schicht Boden von 15 cm hat bei einem mittleren spez. Gew. von 1,5 ein Gewicht von 2.250 t/ha. 1 Gew. % Wasser sind $1 m^3/100 t$.
 Differenz der Wassergehalte in % $\times 22,5 = m^3 WV/ha/15 cm$ Tiefe.

Der Begriff "Wasserverlust" wurde hier deshalb gewählt, weil sich der errechnete Wert aus dem Wasserverbrauch der wachsenden Pflanze und dem Wasserverlust durch Verdunstungsbeanspruchung zusammensetzt. Der Anteil beider Pro am gesamten Wasserverlust kann auf diesem Wege nicht ermittelt werden, we

auch unter geschlossenem Pflanzenbestand der zweite Vorgang wahrscheinlich von geringerer Bedeutung ist. Außerdem muß hier berücksichtigt werden, daß der Pflanzenbestand unter Sommerweizen schneller schließt als bei Zuckerrüben.

Werden die Werte der Tabelle 5 miteinander verglichen, zeigt sich, daß zwischen dem 23.04. und 12.06.1975 der Wasserverlust unter Sommerweizen durch die schnellere Entwicklung der Pflanzen im Frühjahr mehr als doppelt so hoch ist als unter Zuckerrüben. Vom 12.06. bis zum 30.07. ist dann der Verlust unter Sommerweizen geringer als unter Zuckerrüben. Nach der Ernte des Sommerweizens tritt bei dieser Versuchsfläche kein weiterer Wasserverlust in der gemessenen Schicht bis 1 m Tiefe ein, das heißt, daß nur durch die Verdunstungsbeanspruchung die Wasserbilanz in dieser Schicht nicht mehr verändert wird. Unter Zuckerrüben dagegen erfolgt zwischen dem 30.07. und 22.08. noch einmal ein Verlust von ungefähr 250 m^3 Wasser und in dem darauffolgenden Monat von ungefähr 100 m^3 .

Werden für einen Vergleich über die Wirkung der beiden verwendeten Düngemittel auf die gleiche Weise wie für Tabelle 5 die Wasserverluste berechnet, werden die in Tabelle 6 zusammengestellten Werte erhalten.

Die Verzögerung der Anfangsentwicklung des Sommerweizens nach Düngung mit N-Lignin zeigt sich in einem geringeren Wasserverlust bis zur Messung Ende Mai 1975. Die danach einsetzende stärkere vegetative Entwicklung auf Grund einer stärkeren Stickstoffnachlieferung aus N-Lignin führt zu einem höheren Wasserverlust in den mit N-Lignin gedüngten Versuchsflächen. Die Summe der Wasserverluste jedoch ist, über die ganze Vegetationszeit betrachtet, bei beiden Düngerformen gleich hoch.

Bei Zuckerrüben dagegen ist nach Düngung mit N-Lignin der Wasserverlust im Jahr 1974 bis zur Messung im August höher als nach Düngung mit Kalkammonsalpeter, obwohl der Bestand später schließt. Möglicherweise wirkt sich hier die Verdunstung aus der freien Fläche stärker aus. Die kräftigere Blattentwicklung nach Düngung mit Kalkammonsalpeter dürfte für die Erhöhung der Wasserverluste nach diesem Zeitpunkt verantwortlich sein.

Im Jahre 1975 schloß der Zuckerrübenbestand schneller als im Jahre 1974, so daß der oben angenommene Verdunstungseffekt aus freier Fläche nach Düngung mit N-Lignin durch die etwas verzögerte Anfangsentwicklung der Zuckerrüben

Tab. 6: Wasserverluste in m³/ha/15 cm unter Sommerweizen (1975) und Zuckerrüben (1974 und 1975) in Abhängigkeit von der Düngung mit N-Lignin (N-L) bzw. Kalkammonsalpeter (KAS)

unter Sommerweizen

Tiefe in cm	02.04.75		- 20.05.		- 12.06.		- 03.07.		- 30.07.		- 22.08.		- 19.09.75		Summe	
	N-L	KAS	N-L	KAS	N-L	KAS	N-L	KAS	N-L	KAS	N-L	KAS	N-L	KAS	N-L	KAS
20	8	18	87	97	104	93	17	5	0	0	5	5	0	7	221	225
35	11	24	70	92	86	79	27	7	5	0	7	2	5	0	211	204
50	9	12	59	89	66	61	36	14	5	9	5	0	2	0	182	185
65	1	1	41	52	43	46	23	8	29	36	0	2	5	5	136	150
80	1	1	36	36	32	25	47	25	14	2	2	7	2	0	136	135
95	1	1	29	36	7	7	38	34	25	25	2	0	5	0	107	103
Summe	31	57	322	402	338	311	188	120	80	84	21	16	19	12	933	1002

unter Zuckerrüben

Tiefe in cm	11.07.74		- 23.07.		- 09.08.		- 02.09.		- 24.09.		- 08.10.74		Summe	
	N-L	KAS	N-L	KAS	N-L	KAS	N-L	KAS	N-L	KAS	N-L	KAS	N-L	KAS
20	45	45	0	0	0	0	34	43	0	5	0	11	79	104
35	36	32	18	11	18	23	36	23	18	7	7	5	115	78
50	23	14	14	11	14	11	29	32	18	18	7	7	91	82
65	9	0	11	9	11	9	34	41	18	29	7	11	79	90
80	2	0	14	0	14	0	34	45	23	32	7	9	80	86
95	7	11	5	0	5	0	29	29	23	14	11	9	75	63
Summe	122	102	62	31	62	31	169	213	100	105	39	52	519	503

23.04.75

Tiefe in cm	- 20.05.		- 03.07.		- 30.07.		- 22.08.		- 19.09.		- 13.10.75		Summe	
	N-L	KAS	N-L	KAS	N-L	KAS	N-L	KAS	N-L	KAS	N-L	KAS	N-L	KAS
20	27	29	36	34	47	49	45	46	7	7	0	0	194	199
35	38	34	27	32	50	34	34	29	14	5	0	0	179	184
50	27	25	11	20	25	27	34	34	18	11	7	0	140	155
65	18	23	5	16	23	23	43	43	9	20	5	0	132	134
80	14	11	17	14	18	14	41	45	21	20	2	0	100	100

schon Mitte Juni endet und sich danach die stärkere Blattentwicklung auf den mit Kalkammonsalpeter gedüngten Versuchsflächen in einen höheren Wasserverlust bemerkbar macht. Ab Mitte August sind die Wasserverluste bei beiden Düngungsvarianten gleich. Die Summe der Wasserverluste in den aufgezeigten Meßzeiträumen ist auch bei Zuckerrüben unabhängig von dem angewendeten Düngemittel.

5.1.3 Volumen der entzogenen Bodenlösung¹⁾

Der Einfluß der Verdunstungsbeanspruchung und der angebauten Frucht auf den Wassergehalt des Bodens zeigt sich auch darin, daß von einem bestimmten Zeitpunkt ab keine Bodenlösung mehr entnommen werden kann. Entsprechend der stärkeren Austrocknung des Bodens in 50 cm Tiefe können am ehesten aus dieser Tiefe keine Lösungen mehr entzogen werden, gefolgt von der Tiefe in 1 m. Aus 2 m Tiefe dagegen können fast über die ganze Versuchszeit hinweg Bodenlösungen entnommen werden. Diese Abhängigkeiten vom Wassergehalt werden deutlich in den Abbildungen 16 und 17 über die Verlagerung von Nitrat in Bodenlösungen.

Obwohl beim Einbau der Kerzen mit größter Sorgfalt gearbeitet worden war, zeigten sich beim Volumen der entzogenen Bodenlösungen zum Teil sehr große Unterschiede in der Förderleistung bei auf gleiche Tiefe eingebauten Parallelkerzen. Diese Unterschiede sind unabhängig von der Einbautiefe. Sie dürften in erster Linie darauf zurückzuführen sein, daß nicht alle Verbindungen zwischen Kerzen, Schläuchen und Entnahmeeinrichtungen in gleicher Weise abdichtet werden konnten, so daß trotz des immer gleichhoch angelegten Vakuums von 0,5 Atm. Unterdruck der Saugdruck in den einzelnen Kerzen verschieden war. Es kann aber auch nicht ausgeschlossen werden, daß auf Grund von Unterschieden in den physikalischen Bodenbedingungen um die Kerzen herum eine ungleiche Wasserführung eintritt. Daß die Ursachen, die das Entnahmevolumen beeinflussen, nicht mehr nachträglich beeinflußt werden können, zeigt sich besonders darin, daß die einmal gefundenen Unterschiede in der Förderleistung von Parallelkerzen sich über die ganze Meßzeit hinweg verfolgen lassen.

In einigen Fällen werden nur kurzfristig auftretende Unterschiede beobachtet, die auf nicht sofort erkannte Undichtigkeiten in der Entnahmeeinheit beruhen, z. B. wird mit der Kerze 34 am 8. und 22. Mai 1973 deutlich weniger Bodenlösung entzogen als mit der Parallelkerze Nr. 33. Dafür wird nach Abdichtung des Lecks am 5. Mai mehr Lösung durch Kerze 34 entzogen, und auch

¹⁾ s. Tabellen 18 - 21 im Anhang

am 19.06. kann noch Lösung entzogen werden, während mit der Kerze Nr. 33 keine Bodenlösung mehr erhalten wird. Dieser Befund weist auch darauf hin, daß die Entnahme an Bodenlösungen den Wasserzustand um die Kerze verändert, so daß durch die einmal erfolgte Entnahme die darauffolgenden Entnahmen beeinflußt werden.

Im Verlaufe des Betriebs der Anlage nimmt das geförderte Volumen ab, und es wird zunehmend schwieriger, den gewünschten Unterdruck über längere Zeit konstant zu halten. Eine mehrfache Abdichtung der Entnahmeeinheit führt zu keinem merkbaren Erfolg, so daß auf eine zunehmende Undichtigkeit im Schlauch-Kerzen-System geschlossen werden muß. In der letzten Entnahmephase während der Winterniederschläge 1975/76 war ein Arbeiten mit der Anlage fast unmöglich, so daß damit begonnen wurde, die Schlauchleitungen und Saugkerzen auszugraben. Es zeigte sich eine starke Zerstörung des Schlauch-Systems durch Nager, wahrscheinlich Mäusefraß. Außerdem war ein großer Teil der Saugkerzen gebrochen. Eine vergleichbare Form des Bruches kann nachvollzogen werden, wenn ein zu starker Unterdruck angelegt und dieser zu schnell durch Belüftung aufgehoben wird. Dieser Bruch von Kerzen dürfte nach der ungefähr gleichen Förderleistung über den größten Teil des Versuchszeitraumes nur bei einigen Kerzen eingetreten sein, aber die starke Zerstörung der Schlauchleitungen und die deshalb angelegten höheren Saugdrücke in der letzten Meßphase scheinen in dieser Zeit den größten Teil der Kerzen zerstört zu haben.

Eine Veränderung der Durchlässigkeit des keramischen Materials der Saugkerzen trat durch die mehr als dreijährige Nutzungsdauer im lehmigen Sand nicht ein, wie ein Vergleich der Förderleistung benutzter und frischer Kerzen zeigte.

Auf die Anreicherung des keramischen Materials mit Inhaltsstoffen der Bodenlösung wird im Abschnitt 5.4 eingegangen.

Um eine Vorstellung über das Bodenvolumen zu erhalten, aus dem Bodenlösung entnommen wurde, kann folgende Berechnung durchgeführt werden:

Das Volumen der keramischen Kerze beträgt bei 4 cm Außendurchmesser und 30 cm Länge 377 ml.

Bei einem Wassergehalt von einem Gewichtsprozent enthalten 100 g Boden 1 ml Wasser, und ein Volumen von 1 l Boden bei einem mittleren spezifischen Gewicht von 1,5 enthält 15 ml Wasser. Abgesaugt werden kann nur Wasser, das mit einer geringeren Saugspannung festgehalten wird als dem angelegten Unterdruck entspricht. Bei dieser Saugspannung beträgt der mittlere Wassergehalt in dem Boden des Versuchsfeldes von 40 bis 200 cm Tiefe ungefähr 3 %. Die absaugbare Menge an Bodenlösung ist dann etwa die Differenz zwischen dem Wassergehalt des Bodens und dem genannten Grenzwert von 3 %. Die absaugbare Wassermenge in ml/l Boden ist dann die Differenz in % multipliziert mit 15. Wird die abgesaugte Bodenlösung im ml durch diesen Wert geteilt, erhält man das Bodenvolumen, aus dem Bodenlösung entnommen wird, wenn man von der Annahme ausgeht, daß die Absaugstärke unabhängig vom Abstand von der Oberfläche der Saugkerze ist und daß das die Saugkerze umgebende Bodenmaterial homogen ist.

Die Berechnungen werden mittels der Formeln für die Berechnung eines Zylinders durchgeführt, wobei angenommen wird, daß das obere und untere Ende der Kerze nicht zum Absaugen beiträgt. In Tabelle 7 sind einige Beispiele für diese Berechnung aufgeführt.

Das durch den Absaugvorgang an Wasser verarmte Bodenvolumen wird größer als für Tabelle 7 errechnet, wenn eine nicht gleichmäßige Absaugung auf den "Grenzwassergehalt" erfolgt. Der Folgeprozeß aber, die Wanderung von Wasser aus dem das verarmte Bodenvolumen umgebenden Boden, wird hierdurch nicht beeinflusst. Diese Wasserverlagerung muß eintreten, da sonst eine Entnahme von Bodenlösung zu einem späteren Zeitpunkt nicht mehr möglich wäre. Wird mit einem mittleren Entzug von 500 ml gerechnet, die durch Diffusion von Bodenlösung in das wasserärmere Bodenvolumen ausgeglichen werden muß, und wird weiterhin angenommen, daß im Mittel 1 % Wasser aus der Umgebung abgegeben wird, so ergibt sich ein Bodenvolumen von 33,3 l Boden mit einem Radius von ca. 19 cm für ein zylindrisches Bodenvolumen und von ca. 20 cm für ein kugelförmiges Bodenvolumen. Wird ein mittlerer Ausgleich mit 0,5 % Wasser angenommen, steigt das in Anspruch genommene Bodenvolumen auf 66,7 l an, dessen Radius bei zylindrischer Form 26,6 bzw. bei Kugelform 25,2 cm beträgt. Es muß demnach damit gerechnet werden, daß durch die Absaugung von Bodenlösung ein ganz erhebliches Bodenvolumen und die Wasserbewegung in diesem beeinflusst werden.

Tab. 7: Radius des abgesaugten Bodenzylinders um eine Saugkerze bei verschiedenen Wassergehalten und Volumina der Bodenlösungen

Datum	11.04. 1973	20.04. 1973	08.05. 1973	22.05. 1973	05.06. 1973	19.03. 1975	19.03. 1975	19.. 1975
Entnahmetiefe in m	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1,0	2
Kerzen-Nr.	11-42	11-42	11-42	11-42	11-42	11-82	13-84	15-
mittl. Vol. d. entzog. Bodenlsg.	519	546	547	422	163	223	163	1
% H ₂ O	12 ¹⁾	12 ¹⁾	11 ¹⁾	9 ¹⁾	8 ¹⁾	10 ²⁾	9,5 ²⁾	8
<u>Berechnung auf der Basis bodenphysikalischer Bestimmungen:</u>								
absaugb. ³⁾ % H ₂ O	9	9	8	6	5	7	6,5	5
ml H ₂ O ab- ⁴⁾ saugbar/l Boden	135	135	120	90	75	105	98	
Bodenvol. ⁵⁾	3,8	4,0	4,6	4,7	2,2	2,1	1,7	1
Gesamtvol. ⁶⁾	4,2	4,4	5,0	5,1	2,6	2,7	2,1	1
r des Boden- zyl. einschl. d. Saugkerze in cm	6,7	6,8	7,3	7,4	5,3	5,2	4,7	4
<u>Berechnung auf der Basis, daß unter 7 % H₂O der Wasserfilm reißt:</u>								
absaugb. ⁷⁾ % H ₂ O	5	5	4	2	1	3	2,5	1
ml H ₂ O ab- ⁴⁾ saugb. l Boden	75	75	60	30	15	45	32,5	
Bodenvol. ⁵⁾	6,9	7,3	9,1	14,1	10,9	5,0	4,3	5
Gesamtvol.	7,3	7,7	9,5	14,5	11,3	5,4	4,7	5
r des Boden- zyl. einschl. d. Saugkerze in cm	8,8	9,0	10,0	12,4	11,0	7,6	7,1	7

1) % H₂O geschätzt aus Abb. 13

2) % H₂O berechnet aus Neutronensondenmessung

3) % H₂O im Boden - 3 % H₂O als untere Grenze des absaugbaren Wassergehalt (s. Abschn. 2.2.2)

4) % H₂O absaugbar X 15 (= ml H₂O/l Boden bei 1 % H₂O)

5) ml der entzogenen Bodenlösung : ml/l Boden

6) Bodenvolumen + Kerzenvolumen (abgerundet auf 0,4 l)

7) % H₂O im Boden - 7 % H₂O als Grenzwassergehalt unter dem der Wasserfilm reißt (s. S. 45)

Daß diese Berechnungen in dem Sandboden zwischen 40 und 200 cm Tiefe nur begrenzt zutreffen, ist aus dem Befund zu erkennen, daß ein Absaugen von Bodenlösungen nicht mehr möglich ist, wenn der Wassergehalt des Bodens unter 7 Gewichtsprozent sinkt. Die ungesättigte Wasserleitfähigkeit des Sandbodens ist so gering - die Wasserfilme reißen so früh - daß unterhalb dieses Wassergehalts keine Bodenlösung mehr entzogen werden kann.

5.1.4 Beziehung zwischen dem entzogenen Volumen an Bodenlösung und dem Gehalt an Nitratstickstoff

Da von den einzelnen Saugkerzen aus gleicher Tiefe zum Teil erheblich unterschiedliche Volumina an Bodenlösung entzogen werden, ist zu überprüfen, ob diese Volumenunterschiede sich auf den Gehalt an Nährstoffen, vor allem an Nitratstickstoff, auswirken. Für den Vergleich sind hier nur einige Meßwerte für Volumen und Nitratstickstoffgehalte der Testfläche 1 in der Tabelle 8 zusammengestellt.

Es werden bei den verschiedenen Entnahmetermenen sowohl in der Phase zunehmender Austrocknung vom 08.05. bis 05.06.1973 als auch in der zunehmender Anfeuchtung vom 07.11. bis 12.12.1973 trotz gleichen Verfahrens unterschiedliche Volumina an Bodenlösung entzogen. Zum Beispiel werden in der Austrocknungsphase mit der Kerze 11 zwischen 220 und 550 ml erhalten, jedoch ist der Nitratstickstoff-Gehalt in den Lösungen fast gleich. Dasselbe gilt für die anderen Kerzenpaare mit Ausnahme der Kerzen 41 und 42, die in der Meßfläche eingebaut worden waren, die die hohe KAS-Düngung erhalten hatte. Hier wurden zwischen den beiden Kerzen größere Unterschiede im Nitratgehalt als im Volumen gefunden. Diese Unterschiede im Nitratgehalt müssen auf Grund der im Gesamtvergleich feststellbaren Unabhängigkeit der Gehalte vom entzogenen Volumen real sein und können nur auf eine unterschiedlich starke Verlagerung durch die über den Kerzen liegenden Bodenschichten zurückgeführt werden.

Eine vergleichbare Unabhängigkeit der Nitratkonzentration vom Volumen wird in der Phase zunehmender Befeuchtung gefunden. Vor allem in den Werten, die am 07.11. und 19.11.1973 gemessen wurden, zeigt sich trotz erheblicher Unterschiede im entzogenen Volumen nur ein geringer Unterschied in den Gehalten. Es muß deshalb angenommen werden, daß die Verminderung der Gehalte in den am 12.12. aus 0,5 m Tiefe entzogenen Lösungen (Kerzen Nr. 21/22, 31/32 und 41/42) real sind und nicht auf das verminderte entzogene Volumen zurückgeführt werden dürfen. Dies muß auch deshalb zutreffend sein, da bei gleichen

Volumenunterschieden nur geringe Änderungen in den Gehalten der Lösungen auftreten, die aus 2 m Tiefe entzogen werden, wo noch keine Zufuhr an Sickerwasser eingetreten ist.

5.1.5 Versuch der Quantifizierung der Sickerwasserbewegung

Für die Verlagerung aus der durchwurzelten Bodenschicht bzw. Auswaschung von Nährstoffen ist nur die nach unten gerichtete Wasserbewegung interessant. Diese kann nur auftreten, wenn die Wasserzufuhr durch Niederschläge höher ist als die Summe der Wasserverluste durch Evapotranspiration der Pflanzen und die Verdunstungsbeanspruchung der Bodenoberfläche. Sie wird bei den laufenden Messungen der Bodenfeuchte mit der Neutronensonde angezeigt durch einen fortlaufenden und in tiefere Bodenschichten sich fortsetzenden Anstieg im Wassergehalt des Bodens.

Diese Zunahme im Bodenwassergehalt tritt während des Versuches jeweils im Spätherbst und Winter ein und konnte zwischen dem 05.10.1974 und dem 06.01.1975 sowie zwischen dem 19.09.1975 und dem 09.02.1976 messend verfolgt werden. Auf der Grundlage, daß eine Zunahme um ein Gewichtsprozent Wasser eine Steigerung des Wassergehaltes in einer Bodenschicht von 1 cm Tiefe und einer Fläche von 1 m^2 bei einem mittleren spezifischen Gewicht des Bodens von 1,5 um 0,15 l bedeutet, wurde aus den Wassergehalten, die aus den Messungen mit der Neutronensonde errechnet worden waren, der Anstieg der Wassermenge pro Bodenschicht in Litern berechnet (Tabelle 9).

In der Tabelle werden gleichzeitig die Höhe der Niederschläge, der Verdunstungsbeanspruchung und die klimatische Wasserbilanz aufgeführt. Die klimatische Wasserbilanz (in mm bzw. $1/\text{m}^2$) wird dem berechneten Anstieg im Wassergehalt gegenübergestellt.

In beiden beschriebenen Zeiträumen wird in Abhängigkeit von der klimatischen Wasserbilanz ein mit der Zeit nach größeren Tiefen hin fortschreitender Anstieg des Wassergehaltes gefunden, der weitgehend mit den Werten der klimatischen Wasserbilanz und mit den theoretischen Vorstellungen über die Wasserbewegung im Boden übereinstimmt. Eine Verlagerung von Wasser unter die 2 m-Marke tritt deutlich nur zwischen dem 19.12.1974 und dem 06.01.1975 ein und wird sich dann bis Ende April 1975 fortsetzen, wie die hohe nicht mit der Messung erfaßbare Abweichung in der Summe des Anstiegs - $(N - V)$ von 48,6 bzw. 44 l/m^2 ausweist.

Auf Grund der erhaltenen Beziehung zwischen der klimatischen Wasserbilanz und der Wasserbewegung im Boden sollte es erlaubt sein, den nicht durch entsprechende Messungen abgedeckten Zeitraum Spätherbst/Winter 1973/1974 durch Berechnung zu erfassen. Die ermittelten Daten über die Wasserbewegung werden im Zusammenhang mit den gemessenen Nährstoffgehalten in Bodenlösungen zu einer Kalkulation der durch die Bodenschichten, die durch die eingebauten Saugkerzen erfaßt werden, durchlaufenden Nährstoffkonzentrationen verwendet.

5.2 Veränderungen der Gehalte an Inhaltsstoffen von Bodenlösungen im Verlaufe des Versuchszeitraumes

5.2.1 Verlagerung von Nitratstickstoff

Für die Darstellung der Veränderungen der Gehalte an verschiedenen Nährstoffen in den zu verschiedenen Entnahmetermen entzogenen Bodenlösungen ist hier und in den folgenden Abschnitten immer die gleiche Form gewählt worden. Die Gehalte werden in ppm angegeben. Zusammengefaßt werden die Ergebnisse in Teilabbildungen jeweils für ein Jahr, für eine Tiefe der eingebauten Entnahmekerzen unter einer angebauten Frucht. Als direkter Vergleich werden die beiden Düngerformen in zwei Konzentrationen zusammen aufgezeichnet. Die Düngetermine sind durch Pfeile markiert. Der erste Pfeil bedeutet den Termin der Gesamt-Stickstoffdüngung mit den beiden N-Lignin-Mengen und der Düngung mit der niedrigen Gabe an Kalkammonsalpeter und der ersten Teilgabe der höheren Düngungsstufe. Die darauffolgenden Pfeile kennzeichnen die später erfolgten Teilgaben der hohen Düngungsstufe mit Kalkammonsalpeter. Alle Meßwerte für Nitrat im Bodenwasser sind als Mittelwerte mit Standardabweichung im Anhang in den Tabellen 22 - 28 zusammengefaßt dargestellt.

Zuerst werden die Ergebnisse der Testfläche 1 mit den Versuchsflächen 1 bis 4 mit der Fruchtfolge Sommerweizen - Zuckerrüben - Sommerweizen besprochen (Abb. 16).

Auf Grund der geringen Niederschläge im Sommer und im Herbst des Jahres 1973, wie sie durch eine stark negative Wasserbilanz bereits in Abbildung 4 dargestellt wurden, können durch den eingesetzten Saugdruck von 0,5 Atm.

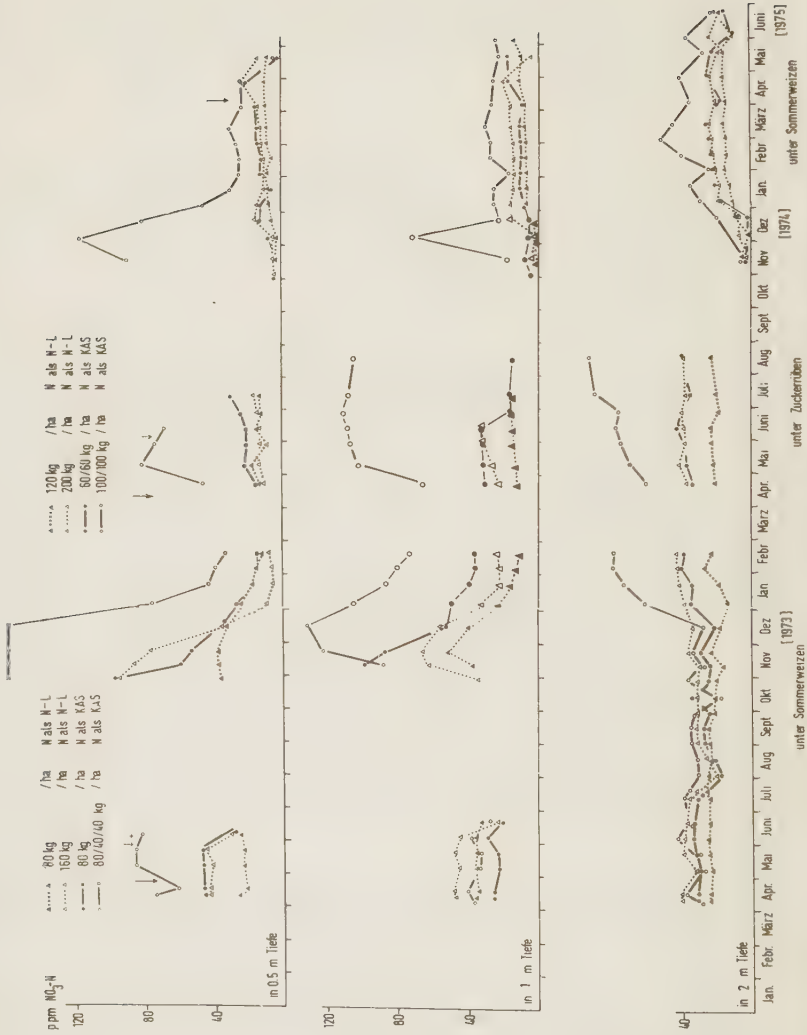


Abb. 15: Stickstoffgehalte in den aus Testfläche 1 entzogenen Bodenlösungen in mm

Unterdruck bei 50 cm Tiefe ab Mitte Juni und bei 1 m Tiefe ab Ende Juni keine Proben mehr entnommen werden. Der Wassergehalt in 2 m Tiefe reicht jedoch aus, um das ganze Jahr über Proben entnehmen zu können.

In der ersten Meßphase von April bis Juni zeigt sich in der aus 50 cm Tiefe entzogenen Bodenlösung ein Düngungseinfluß nur bei der hohen Kalkammonsalpetergabe. Dieser Einfluß muß aber als zufällig betrachtet werden, da die erste Teilgabe in der Höhe der niedrigen Gesamt-Kalkammonsalpetergabe entspricht, die aber nicht den gleichen Effekt zeigt. Die beiden Düngemittel und die Höhe der jeweiligen Gaben unterscheiden sich deutlich in der Höhe der Nitratstickstoffgehalte in den Bodenlösungen. Da der Einfluß der Jahresdüngung durch eine Einwaschung ausgeschlossen werden kann, muß dieser Unterschied auf den Einfluß der Düngung im Vorjahr zurückgeführt werden, denn auch die Jahre 1971 und 1972 waren Jahre mit stark negativer, klimatischer Wasserbilanz.

Um einen Eindruck von den Stickstoffmengen in Form von Nitrat in der Tiefe, in der die Kerzen eingebaut waren, zu erhalten, wurde diese auf folgendem Wege berechnet:

1 ppm Nitrat-N bedeutet 1 mg N/l oder 1 g N/m³ Bodenlösung. Bei einem Wassergehalt von einem Gewichtsprozent sind in einer Bodenschicht von 20 cm Tiefe und einem mittleren spezifischen Gewicht des Bodens von 1,5 in den 3 000 t Boden/ha 30 000 l oder 30 m³ Wasser enthalten.

Der Gehalt in kg Nährstoff/ha/20 cm Tiefe errechnet sich dann aus:

$$\frac{\text{ppm Nährstoff} \times \% \text{ H}_2\text{O} \times 30}{1\,000}$$

Hieraus ergibt sich für den 22. Mai 1973 bei einem Wassergehalt von 6 % (s. Abbildung 13) für die einzelnen Düngungsvarianten ein Nitratstickstoffgehalt in der Tiefe von 40 bis 60 cm

Mai	80 kg/ha N als N-Lignin	von 4,1 kg/ha N
	160 kg/ha N als N-Lignin	von 8,1 kg/ha N
	80 kg/ha N KAS	von 8,3 kg/ha N
	160 kg/ha N KAS	von 15,5 kg/ha N

Durch die fortschreitende Austrocknung des Bodens innerhalb dieser Meßperiode von 9 auf 6 Gewichtsprozent H_2O sollte eine Konzentrierung der Bodenlösung eintreten; sie wird aber nach den Meßergebnissen durch die Aufnahme von Nitratstickstoff durch die Pflanzenwurzel bis Anfang Juni kompensiert. Bei der letzten Entnahme scheint die Aufnahme höher als der Konzentrierungseffekt zu sein, da die Nitratmenge bei den mittleren Gehalten deutlich, bei dem höchsten Gehalt geringfügig abnimmt. Diesem Trend folgt jedoch nicht die Meßfläche mit der niedrigen Gabe an N-Lignin.

In den aus 1 m Tiefe entnommenen Bodenlösungen sind die Gehalte an Nitratstickstoff ausgeglichener. Hier liegen jedoch die Gehalte nach Düngung mit der hohen Gabe an N-Lignin fast über den ganzen Meßzeitraum höher als in den anderen Düngungsvarianten. Auch in den aus 2 m Tiefe entnommenen Bodenlösungen sind die Nitratstickstoffgehalte annähernd gleich.

Mit den im Oktober einsetzenden stärkeren Niederschlägen und einer stark positiven klimatischen Wasserbilanz (s. Abbildung 4) tritt erstmalig im Untersuchungszeitraum eine Wasserbewegung im Boden ein, die zu einer deutlichen Veränderung der Nitratstickstoffgehalte in den entnommenen Bodenlösungen führt. Da die klimatischen Bedingungen Ende 1973 denen des Jahresendes 1974 ähnlich sind, kann eine Abschätzung der Wasserbewegung aus der Darstellung der aus den Neutronensondenmeßwerten ermittelten Wassergehalte abgeleitet werden (s. Abbildung 14).

Die Nitratstickstoffgehalte steigen in 50 cm Tiefe nach Düngung mit der hohen Gabe an Kalkammonsalpeter in den Monaten Oktober bis November auf 160 ppm an, was nach obiger Rechnung bei einem mittleren Wassergehalt von 12 % einer Menge von ca. 58 kg Nitratstickstoff in der Schicht von 40 bis 60 cm Tiefe entspricht. Die Konzentration bleibt bis Jahresende auf der gleichen Höhe.

Die Variante mit der niedrigeren Kalkammonsalpetergabe und die mit der hohen N-Lignin-Gabe zeigen eine vergleichbare Veränderung der Nitratstickstoffkonzentration mit der Zeit. Zu Beginn der Wasserbewegung nach unten wird ein hoher Nitratgehalt gefunden, der jedoch geringer als nach der hohen Kalkammonsalpetergabe ist. Es errechnet sich für die beiden Varianten ein Wert von ca. 34 kg/ha Nitratstickstoff/40 bis 60 cm.

Die relative starke Abnahme der Nitratstickstoffkonzentration in den folgenden Messungen deutet darauf hin, daß der größte Anteil aus dem Oberboden mit der Wasserfront nach unten wandert. Am Jahresende wird in der 20-Zentimeterzone um die 50-Zentimeterkerze ungefähr derselbe Gehalt erreicht, wie er in der letzten Messung vor der Austrocknung ermittelt worden war.

Die niedrige N-Lignin-Düngung führt nur zu einer sehr geringen Erhöhung der Nitratstickstoffkonzentration in dieser Zone, die auch später eintritt und dann ebenfalls nur eine geringe Abnahme aufweist. In 1 m Tiefe erfolgt der Anstieg der Konzentration mit einer Zeitverzögerung von ca. 14 Tagen. Die Nitratmenge scheint hier nicht mehr mit der Wasserfront zu wandern. Der höhere konstante Nitratgehalt in 50 cm Tiefe bei hoher Kalkammonsalpetergabe spiegelt sich in 1 m Tiefe in einer mit der Zeit ansteigenden Konzentration wieder. Bei der niedrigen Kalkammonsalpetergabe folgt die Konzentration der Abnahme in 50 cm Tiefe, was auf eine ausbleibende Nachlieferung aus der darüberliegenden Schicht hinweist. Beide N-Lignin-Varianten zeigen ein sich ähnliches, aber zu Kalkammonsalpeter deutlich unterschiedliches Verhalten. Die gemessenen Konzentrationen sind niedriger und der geringe Konzentrationsanstieg tritt später ein. Die Nachlieferung aus den darüberliegenden Schichten ist demnach erheblich geringer.

In den aus 2 m Tiefe entzogenen Bodenlösungen werden keine Änderungen des Nitratstickstoffgehaltes festgestellt. Die Verlagerung endet demnach bis zum Jahresende 1973 zwischen 1 und 2 m Tiefe.

Die schwach positive Wasserbilanz zu Beginn des Jahres 1974 bewirkt, daß in den Bodenlösungen, die bei 50 cm Tiefe entzogen wurden, jetzt auch in der mit der hohen Kalkammonsalpetergabe gedüngten Variante der Nitratstickstoffgehalt abnimmt und gegen Ende Februar seinen Tiefstwert erreicht. Auch in den anderen Versuchsflächen wird eine geringe Verminderung der Nitratstickstoffkonzentration beobachtet.

In der Meßzone bei 1 m setzt sich die Ende 1973 beobachtete Tendenz fort. Am deutlichsten ist diese Entwicklung in der Variante mit der hohen Kalkammonsalpeterdüngung. Hier vermindert sich die Konzentration jetzt ebenfalls, jedoch ist der Ende Februar erreichte Endstand deutlich höher als in den anderen Versuchsflächen. Die beiden mit N-Lignin gedüngten Flächen erreichten die niedrigste Konzentration.

Auch in 2 m Tiefe folgt die Konzentration an Nitratstickstoff der bisher beobachteten Entwicklung. Eine stärkere Erhöhung der Konzentration wird in der Versuchsfläche mit der hohen Kalkammonsalpetergabe gefunden. Die anderen Düngemittel folgen in der Reihenfolge: niedrige Gabe Kalkammonsalpeter gleich der hohen Gabe an N-Lignin, und die niedrige Gabe an N-Lignin zeigt die geringsten Konzentrationen.

Wird entsprechend der in Abschnitt 5.1.5 beschriebenen Quantifizierung der Sickerwasserbewegung der Durchlauf durch die von der 2-Meter-Kerze erfaßten Zone ermittelt, ergeben sich nur ca. 5 l/m^2 . Diese Wassermenge kann nicht wesentlich tiefer als 2 m gewandert sein, denn vom 06.02.1974 ab ist die klimatische Wasserbilanz wieder negativ. Dieser Befund erklärt die über längere Zeit annähernd konstante Konzentration an Nitratstickstoff in 2 m Tiefe. Wird aus dem am 22.01.1974 gemessenen Gehalt an Nitratstickstoff und einem Wassergehalt von ca. 8 % die Menge an Nitratstickstoff in kg/ha in der Zone von 190 bis 210 cm berechnet, ergeben sich für die verschiedenen Düngewarianten

80 kg/ha N als N-Lignin	4,6 kg/ha N
160 Kg/ha N als N-Lignin	9,8 kg/ha N
80 kg/ha N KAS	8,2 kg/ha N
160 Kg/ha N KAS	17,3 kg/ha N

Die Testfläche 1 wurde am 30. März 1974 mit Zuckerrüben bestellt und am 5. April mit der ersten Gabe gedüngt. Die Düngform und die Abstufung bleiben denen des Vorjahres auf den Versuchsflächen gleich, sind jedoch in der Höhe der angebauten Frucht angepaßt.

Die Düngung zu Zuckerrüben führt wie im Vorjahr zu Sommerweizen nur bei der hohen Kalkammonsalpetergabe zu einer Erhöhung des Nitratstickstoffgehaltes in 50 cm Tiefe.

Erstaunlich hoch steigt der Nitratstickstoffgehalt in 1 m Tiefe nach der hohen Kalkammonsalpetergabe an, während unter allen anderen Düngestufen keine Veränderung der Konzentration zu beobachten ist. Die Differenz zwischen dem Ausgangswert vor der Düngung und dem Höchstwert nach der Düngung beträgt ca. 40 ppm. Bei einem mittleren Wassergehalt von 9 % entspricht das einer Nitratstickstoffmenge in der 1-m-Zone von ca. 14 kg/ha N/90 bis 110 cm Tiefe.

Auch in 2 m Tiefe ist die steigende Zufuhr von Nitratstickstoff bei der hohen Gabe von Kalkammonsalpeter mit der Zeit, wenn auch etwas abgeschwächt, zu beobachten. Alle anderen Varianten zeigen keine Veränderung.

Nach der Zwangspause der Messungen bedingt durch die Trockenheit im Sommer auch des Jahres 1974 steigt in 50 cm Tiefe bei einsetzender Wiederbefeuchtung des Bodens nur bei der hohen Gabe an Kalkammonsalpeter der Nitratstickstoffgehalt an. Bei den anderen Düngungsvarianten zeigen sich bis Ende des Jahres nur geringe Veränderungen, in denen ein geringer Anstieg bis zum Jahresende zu beobachten ist. Die Konzentrationszunahme bei der hohen Kalkammonsalpetergabe ist geringer als im Vorjahr und tritt auch später ein, obwohl die Niederschlagsbedingungen denen des Jahres 1973 ähnlich sind. Dieser Unterschied zwischen den Jahren dürfte auf eine höhere Ausnutzung des Stickstoffs durch die Zuckerrüben zurückzuführen sein.

Die deutliche Abnahme der Nitratstickstoffmenge in 1 m Tiefe, vor allem in der mit der hohen Kalkammonsalpetergabe gedüngten Variante, kann ebenfalls nur auf eine stärkere Ausnutzung des Stickstoffs durch die Zuckerrüben zurückgeführt werden, denn eine Verlagerung kann auf Grund der Witterungsbedingungen mit fehlender Wasserbewegung im Boden ausgeschlossen werden.

In 2 m Tiefe tritt nur gegen Jahresende ein Anstieg in den Meßwerten ein. Eine stärkere Verlagerung von Stickstoff erfolgt vor allem im Jahre 1975 in größerer Tiefe auf Grund der höheren Niederschläge ab Mitte Dezember, wie in Abschnitt 5.1.5 aufgezeichnet. In 0,5 m und 1 m Tiefe vermindert sich die Nitratkonzentration fortlaufend vor allem in den Meßflächen, die mit der hohen Gabe von Kalkammonsalpeter gedüngt worden waren. In 2 m Tiefe erfolgt eine Erhöhung der Nitratkonzentration mit einer anschließenden Verminderung in den Monaten März und April, das heißt, daß in dieser Zeit Stickstoff nach unten ausgewaschen worden sein muß. Wird auf Grund der in Abschnitt 5.1.5 gezogenen Schlüsse und der Abnahme an Nitratstickstoff in 2 m Tiefe ein Verlust an Stickstoff über 2 m hinaus berechnet, ergeben sich folgende Daten, wenn ein Durchlauf von ungefähr 50 l pro m² angenommen wird:

	ppm NO ₃ -N			
	am 05.02.75	22.05.75	Differenz	Auswaschung
niedrige Gabe N-Lignin	14	15	0	0 kg/ha N
hohe Gabe N-Lignin	22	28	4	2 kg/ha N
niedrige Gabe KAS	22	21	1	0,5 kg/ha N
hohe Gabe KAS	51	26	25	12,5 kg/ha N

Die Berechnung zeigt, daß auch unter extremen Witterungsbedingungen, wie im Versuchszeitraum vorlagen, eine Auswaschung nur dann eintritt, wenn hohe Gaben an Mineraldünger angewendet wurden. Aber selbst unter diesen Bedingungen ist die Auswaschung von ungefähr 12 kg N/ha gering. Dieser Befund steht in Übereinstimmung mit den in der Literatur aufgeführten Werten.

Die Fortsetzung des Versuches im Jahre 1975 und im Beginn des Jahres 1976 führte zu keinen neuen Ergebnissen, da das Jahr 1975 noch extremer trockener war als die davorliegenden Jahre. Erst zwischen dem 6. und 27. Dezember 1975 wird eine geringfügige positive Wasserbilanz gemessen. Stärkere Niederschläge fallen erst Ende Januar bis Anfang Februar. Diese Niederschläge in ihrer Wirkung auf die Verlagerung von Stickstoff konnten durch den Zusammenbruch der Anlage nicht mehr verfolgt werden.

Die in der Testfläche 2 mit der Fruchtfolge Zuckerrüben - Sommerweizen - Zuckerrüben erhaltenen Ergebnisse sind in Abbildung 17 zusammengestellt. Die Mittelwerte und die Standardabweichungen der Meßwerte sind im Anhang den Tabellen 22 - 28 aufgeführt.

Die Nitratgehalte in den Bodenlösungen der Testfläche 2 sind im Sommer 1975 niedriger als in Testfläche 1. Die höhere Düngung zu Zuckerrüben auf dieser Testfläche hat sich also nicht auf den Gehalt ausgewirkt. Im Gegenteil scheint hier ein Effekt der Vorjahresdüngung vorzuliegen. Trotz der niedrigen Gehalte zeigt sich aber auch in Testfläche 2, daß die Gehalte, die nach Kalkammonsalpeterdüngung festgestellt werden, höher sind als die nach N-Lösungsdüngung, und zwar in allen drei Entnahmetiefen, wenn auch dieser Unterschied in 2 m Tiefe nicht so deutlich ausgeprägt ist. Während der Sommermonate ändern sich die Gehalte nur unwesentlich.

Nach der Zwangspause durch Austrocknung des Bodens tritt mit einsetzender Sickerwasserbewegung wie auf Testfläche 1 eine deutliche Änderung der Konzentrationen in Abhängigkeit von der Zeit und der Meßtiefe ein.

In 0,5 m Tiefe wird nach der hohen Kalkammonsalpetergabe bei den beiden ersten Entnahmetermen ein sehr hoher Nitratgehalt von ungefähr 160 ppm gemessen. Jedoch schon beim dritten Entnahmetermen beträgt die Nitratkonzentration nur noch etwa 50 ppm Nitratstickstoff. Diese Konzentrationsabnahme tritt erheblich früher ein als bei Testfläche 1.

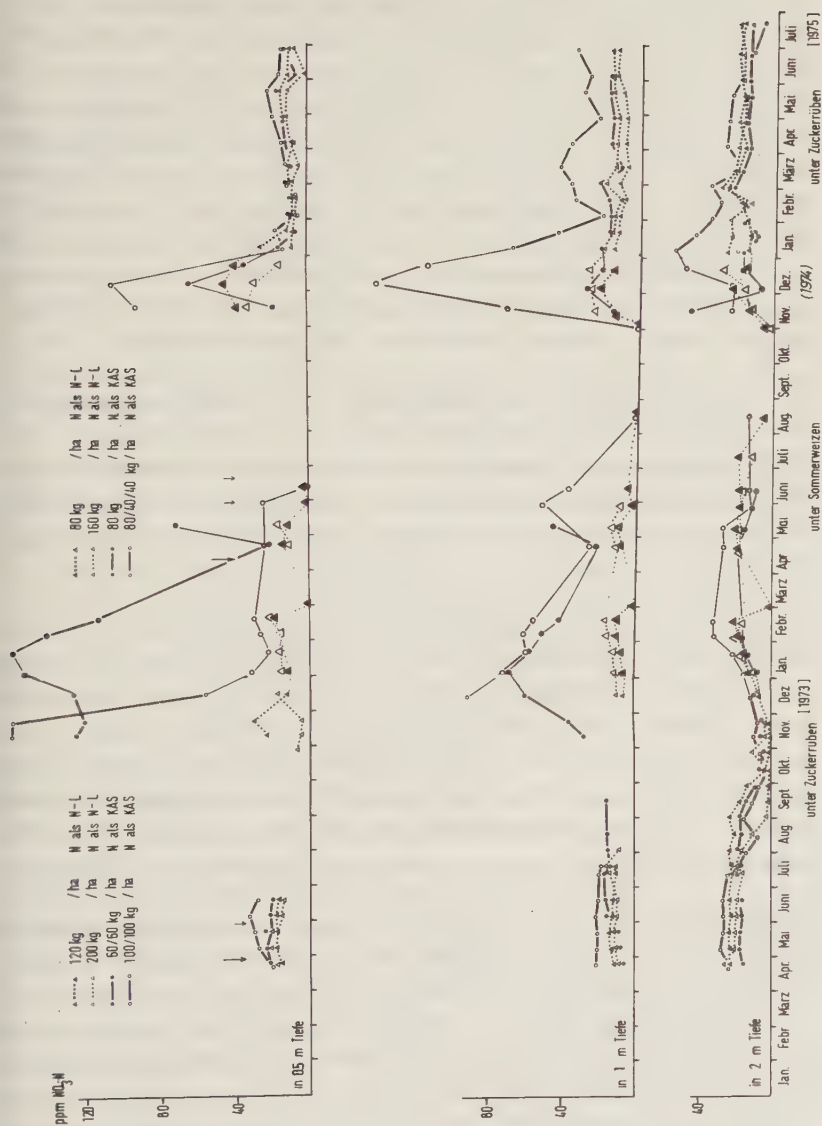


Abb. 17: Nitratstickstoffgehalte in den aus Testfläche 2 entzogenen Bodenlösungen in ppm

Ganz anders verläuft die Konzentrationsänderung bei Nitratstickstoff nach der niedrigeren Kalkammonsalpetergabe. Hier wird bei den beiden ersten Messungen ein geringerer Stickstoffgehalt wie nach der hohen Kalkammonsalpetergabe festgestellt, jedoch steigt der Gehalt im Laufe des Winters stark an und fällt erst im Februar des Jahres 1974 ab. Welche Gründe hierfür sprechen, ist unklar. Es ist jedoch festzustellen, daß bei diesen hohen Gehalten in 0,5 m Tiefe sowohl auf Testfläche 1 wie auf Testfläche die höchsten Standardabweichungen gefunden werden, das heißt, daß die Konzentrationen an Nitratstickstoff in den Bodenlösungen, die durch die beiden Parallelkerzen gefördert werden, sich sehr stark unterscheiden. Nach Düngung mit N-Lignin enthalten die Bodenlösungen über die ganze Meßperiode Herbst - Winter - Frühjahr 1973/74 sehr geringe Nitratgehalte.

In 1 m Tiefe zeigt sich eine Verzögerung in der Abnahme der Konzentration an Nitratstickstoff in beiden Meßflächen, die mit Kalkammonsalpeter gedüngt worden waren. Es zeigen sich hier nicht die gleichen Unterschiede, wie sie in 0,5 m Tiefe gefunden wurden. In 1 m Tiefe sind ebenfalls die Gehalte an Nitratstickstoff in den mit N-Lignin gedüngten Meßflächen deutlich niedriger.

Auch in 2 m Tiefe zeigt sich mit der bereits in Testfläche 1 beobachteten Zeitverschiebung ein geringer Anstieg im Nitratstickstoffgehalt im Januar/Februar 1974, was auf eine Verlagerung von Stickstoff aus der Wurzelzone heraus hindeutet. Wie zuvor beschrieben, dürfte jedoch diese Menge nicht wesentlich unter 2 m Tiefe hinaus verlagert werden können. Diese Anreicherung ist aber nur ausgeprägt nach Düngung mit der hohen Gabe an Kalkammonsalpeter. Die niedrige Kalkammonsalpetergabe und die beiden N-Lignin-Düngungsstufen verändern nur unwesentlich die Nitratgehalte in dieser Tiefe.

Mit beginnenden Regenfällen im Herbst 1974 und einsetzender Sickerwasserbewegung wird wiederum eine deutliche Erhöhung der Konzentration an Nitratstickstoff schon mit den ersten Regenfällen in 0,5 m Tiefe gemessen. Der Vorjahre beobachtete Unterschied zwischen der hohen und der niedrigen Kalkammonsalpetergabe wird nicht wieder beobachtet. Die hohe Kalkammonsalpetergabe bewirkt bereits bei der ersten Messung einen deutlichen Anstieg an Nitratstickstoff. In 1 m Tiefe tritt die auch schon zuvor beobachtete Zeitverschiebung im Nitratanstieg um ungefähr 14 Tage ein. Es ist jedoch erstlich, bis zu welcher Höhe in 1 m Tiefe der Nitratstickstoffgehalt nach der

hohen Kalkammonsalpetergabe ansteigt. Alle 3 anderen Düngervarianten, d. h. die niedrige Kalkammonsalpetergabe und die beiden N-Ligningaben, bewirken nur einen schwachen Anstieg in 1 m Tiefe, vergleichbar mit der relativ geringen Zunahme in 0,5 m Tiefe zu den der Zeitverschiebung entsprechend früheren Terminen. In 2 m Tiefe zeigt sich ebenfalls wieder die mehrfach beobachtete Zeitverzögerung in einem stärkeren Anstieg im Nitratstickstoffgehalt Ende Dezember 1974 bis Anfang Januar 1975. Im Gegensatz zu Testfläche 1 geht aber in 2 m Tiefe der Nitratstickstoffgehalt selbst nach der hohen Kalkammonsalpetergabe schnell wieder auf die Ausgangswerte zurück.

Wird auch aus diesen Werten eine Auswaschung in kg/ha N berechnet, ergibt sich für die beiden N-Lignin-Gaben und die niedrige Gabe an Kalkammonsalpeter eine Auswaschung, die fast den Wert 0 hat, während bei der hohen Kalkammonsalpetergabe mit einer Auswaschung von ungefähr 5 kg/ha N zu rechnen ist.

Für die Jahre 1975 und 1976 gilt das zuvor bei Testfläche 1 gesagte. Es scheint jedoch zu Beginn des Jahres 1976 ein stärkerer Einfluß von Düngerrückständen aus der Zuckerrübindüngung des Jahres 1975 vorzuliegen. Hierauf weisen die etwas höheren Nitratgehalte zum Jahresbeginn 1976 in 0,5 m Tiefe hin. In 2 m Tiefe kann jedoch trotz der hohen Niederschläge im Januar keine deutliche Veränderung im Nitratstickstoffgehalt bis zur letzten Messung im März 1975 beobachtet werden.

5.2.2. Verlagerung von Ammoniumstickstoff

N-Lignin hemmt über mehrere Wochen nach dem Zusatz zum Boden deutlich die Nitrifizierung sowohl des in ihm enthaltenen Ammoniaks als auch des im Boden vorhandenen und des durch Mineralisierung freigesetzten (FLAIG und SÖCHTIG, 1967; SÖCHTIG, 1970; SÖCHTIG und FLAIG, 1973). In leichten, wenig sorbierenden Sandböden wurde in Versuchen mit Kleinstlysometern und Bodensäulen nach Düngung mit N-Lignin auch eine Auswaschung von Ammoniumstickstoff gefunden (SÖCHTIG und FLAIG, 1973). Es wurde deshalb auch in hier vorliegenden Untersuchungen der Gehalt an Ammoniumstickstoff in den entzogenen Bodenlösungen bestimmt, um eine Verlagerung von Ammoniumstickstoff nach Düngung mit N-Lignin erfassen zu können. Als Beispiel für die gemessenen Gehalte an Ammoniumstickstoff sind die Ergebnisse des Jahres 1973 unter Sommerweizen in Abbildung 18 dargestellt.

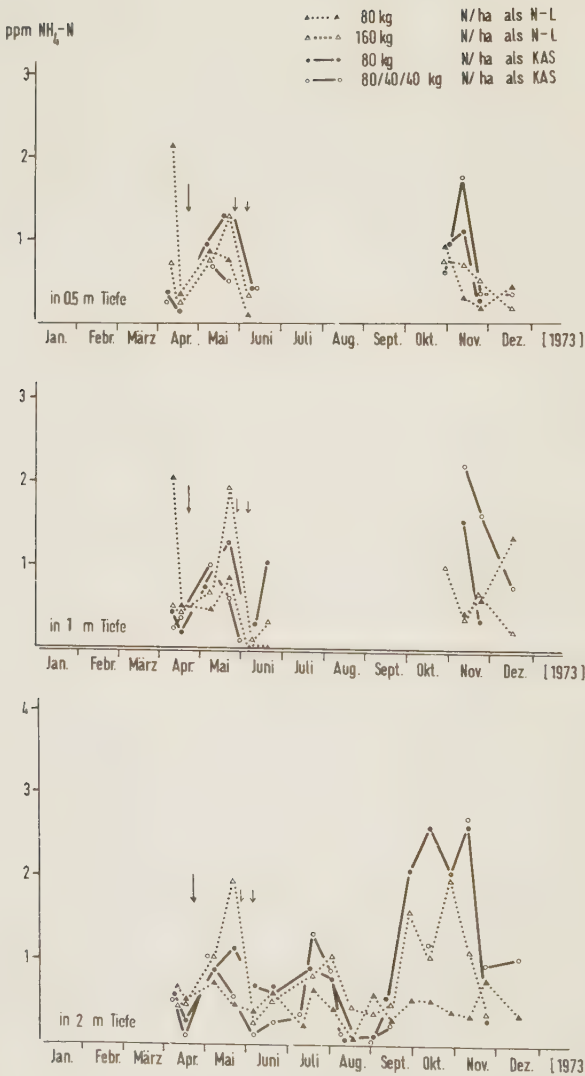


Abb. 18: Ammoniumstickstoffgehalte in den aus Testfläche 1 1973 entzogenen Bodenlösungen in ppm

In den anderen Meßzeiträumen (1974 und 1975) und unter Zuckerrüben werden die gleichen geringen Schwankungen der Gehalte, unabhängig von Art und Höhe der Düngung, gefunden. Eine Veränderung der Gehalte in Abhängigkeit von der Sickerwasserbewegung, wie sie für Nitratstickstoff gemessen wurde, ist ebenfalls nicht zu beobachten. Die Standardabweichungen der Meßwerte aus den beiden Parallelkerzen als Maß für den Konzentrationsunterschied in den Bodenlösungen in gleicher Tiefe liegen fast in der gleichen Größenordnung wie die Meßwerte selbst. Damit ist ein Unterschied zwischen den Meßwerten nicht statistisch zu sichern. Um eine Vorstellung von der Größenordnung der in den durch die Messungen erfaßten Bodenschichten in 0,5, 1,0 und 2,0 m Tiefe zu erhalten, werden aus den Gehalten der Bodenlösungen die kg Ammoniumstickstoff/ha/20 cm errechnet:

Gehalt in ppm	bei 10 Gew.% H ₂ O	bei 5 Gew.% H ₂ O
1	0,3	0,15 kg Ammoniumstickstoff/
2	0,6	0,3 ha/20 cm

Die hier bestimmten Mengen sind gegenüber den in Form von Nitratstickstoff vorliegenden vernachlässigbar klein. Die Messungen zeigen, daß selbst auf dem leichten Versuchsfeldboden keine Verlagerung von Ammoniumstickstoff nach Düngung mit N-Lignin eintritt.

5.2.3 Gehalte an Nitritstickstoff in den Bodenlösungen

Der Gehalt an Nitritstickstoff wurde bestimmt, um mögliche Störungen im Stickstoffumsatz des Bodens erfassen zu können. Bei einem merkbaren Anteil dieser Stickstoffform wäre dann auch eine Korrektur des Nitratstickstoffgehaltes notwendig, da bei der Destillation Nitrat- und Nitritstickstoff zusammen bestimmt wurden.

Die Nitritstickstoffgehalte waren fast während der gesamten Meßzeit außerordentlich niedrig, in den meisten Fällen konnten nur Spuren nachgewiesen werden und brauchten bei der Berechnung der Nitratstickstoffgehalte nicht berücksichtigt zu werden. Eine Ausnahme von dieser Regel wurde im Herbst 1974 und in den ersten Messungen des Jahres 1975 beobachtet. Unabhängig von der Tiefe und unabhängig von der Düngungsart und -höhe, auch unabhängig von der angebauten Frucht, wurden in diesem Zeitraum in einzelnen entzogenen Bodenlösungen höhere Mengen an Nitritstickstoff festgestellt. Dieser Anteil an

Nitritstickstoff betrug in einigen Messungen bis zu 5 % des Nitratstickstoffgehaltes. In den einzelnen Kerzen wurde jedoch bei aufeinanderfolgenden Meßterminen nicht der gleiche Anteil an Nitritstickstoff festgestellt. Während er an einem Termin hoch war, fiel er beim folgenden auf Spuren zurück, um bei der darauffolgenden Messung wieder deutlich anzusteigen. Parallelkerzen zeigten keine gleichlaufenden Konzentrationsänderungen. Ähnliche Erscheinungen konnten in anderen zu dieser Zeit in Völkenrode durchgeführten Messungen beobachtet werden (persönliche Mitteilung von W. CZERNY).

Um einen Anhalt für eine Erklärung dieses Phänomens zu bekommen, wurde in Laborversuchen Versuchsfeldboden mit verschiedenen Stickstoffformen (Kaliumnitrat, Ammoniumnitrat und Ammoniumsulfat) bei verschiedenen Temperaturen bei verschiedenen Wassergehalten und nach Zusatz organischer Substanz inkubiert. In keinem dieser Versuche konnte nachgewiesen werden, daß sich ein höherer Anteil an Nitritstickstoff bildete, selbst wenn die Böden fast Wassersättigung hatten. Eine Erklärung für die unregelmäßig, aber doch in der Höhe deutlich ausgeprägte Menge an Nitritstickstoff im Feldversuch kann aus diesen Modellversuchen nicht gegeben werden.

5.2.4 Verlagerung von Kohlenstoff

Die Untersuchungen mit Bodensäulen und Kleinstlysimetern über die Verlagerung von N-Lignin-Stickstoff in leichteren Böden hatten ergeben, daß auch organische Anteile dieses Produktes durch den Wasserfluß in tieferliegenden Schichten transportiert werden können (SÜCHTIG und FLAIG, 1973). Es wurde deshalb in den entzogenen Bodenlösungen der "Kohlenstoffgehalt" mittels nasser Verbrennung durch Kaliumdichromat bestimmt. Der Begriff "Kohlenstoffgehalt" ist in Paranthese gesetzt, da die angewandte Methode nur eine indirekte Kohlenstoffbestimmung über die Ermittlung der Reduktion des als Oxidationsmittel eingesetzten Chromats ist und damit richtiger als Bestimmung eines Oxidationsäquivalentes zu bezeichnen ist.

Die "Kohlenstoffgehalte" in den Bodenlösungen (s. Anhang Tabellen 29 und 30) variieren um einen mittleren Wert von ca. 30 ppm, der im folgenden als Normwert bezeichnet wird. Die Unterschiede zwischen den Meßwerten sind sowohl zwischen den zwei Kerzen einer Tiefe, als auch zwischen den Kerzenpaaren verschiedener Tiefe und bei aufeinanderfolgenden Entnahmen unregelmäßig, d. h. statistisch verteilt. Es ist somit weder ein Einfluß der

Düngungshöhe noch der beiden Düngertypen, N-Lignin und Kalkammonsalpeter, noch der angebauten Frucht erkennbar.

30 ppm "Kohlenstoff" in der Bodenlösung sind bei einem mittleren Wassergehalt von 8 % ungefähr 7 kg "Kohlenstoff"/ha/20 cm Tiefe, und zwar annähernd konstant über das ganze Profil verteilt. Dies würde einen Gesamtgehalt an "Kohlenstoff" in den durch die Kerzen erfaßten Bereich von 40 - 210 cm Tiefe von ca. 60 kg entsprechen. Es kann aus den vorliegenden Ergebnissen nicht geschlossen werden, welcher Anteil dieses "Kohlenstoffwertes" auf Kohlenstoff in organischen Verbindungen oder auf allgemein reduzierende Bedingungen in den Bodenlösungen zurückzuführen ist.

Mit Beginn der Wasserbewegung im Boden, die durch die Entnahme von Bodenlösungen am 25. Oktober 1973 in der 0,5 m Kerze erfaßt wird, deutet sich eine Veränderung des "Kohlenstoffgehaltes" unabhängig von Düngungsart und -höhe unter Sommerweizen an (s. Tabelle 10 und im Anhang Tabelle 30). In allen vier Versuchsflächen steigt der Wert auf ca. 64 ppm in der aus 0,5 m Tiefe entnommenen Bodenlösung an, während aus 1 m Tiefe noch keine Lösung und aus 2 m Tiefe eine solche mit ca. 25 ppm "Kohlenstoff" - ungefähr dem Normwert entsprechend - entzogen wird. In den Lösungen des darauffolgenden Entnahmetermins am 7. November nimmt der "Kohlenstoffgehalt" in 0,5 m Tiefe auf ca. 37 ppm ab, während der der Lösung aus 1 m Tiefe jetzt auf ca. 46 ppm ansteigt. Dieser Anstieg in dieser Tiefe ist in den letzten Entnahmen des Jahres 1973 in den einzelnen Versuchsflächen unterschiedlich in der Höhe. Es wird deshalb in Tabelle 10 ein Mittelwert aus den letzten drei Entnahmen bis zum 12. Dezember 1973 gebildet. Dieser Mittelwert zeigt einen geringen mittleren Anstieg auf 39 ppm in 1 m Tiefe, während die Bodenlösungen aus 0,5 und 2 m Tiefe dem Normwert entsprechen.

Es dürfte sich bei diesem Anstieg um wasserlösliche Anteile der sich zersetzenden Ernterückstände des Sommerweizens und der organischen Substanz des Bodens, die mit der Wasserfront nach unten wandern, handeln. Wird die Differenz zwischen dem Sommergehalt von 30 ppm und den 64 ppm in 0,5 m Tiefe und den 39 ppm in 1 m Tiefe und daraus der "Kohlenstoffgehalt pro ha und 20 cm Tiefe bei einem mittleren Wassergehalt gegen Ende des Jahres von 10 % berechnet, ergeben sich 10,5 bzw. 3 kg "Kohlenstoff" für die beiden Tiefen.

Auf Grund der großen Unterschiede zwischen den Ergebnissen paralleler und direkt aufeinander folgender Messungen und der geringen erhaltenen Differenzen zwischen den Behandlungen wurden in den folgenden Trockenjahren keine "Kohlenstoffbestimmungen" mehr durchgeführt.

Tab. 10: ppm "Kohlenstoff" in den Bodenlösungen der mit Sommerweizen bestellten Versuchsflächen im Herbst 1973

Test- und Versuchsfläche	Tiefe in cm	Düngung	Entnahmeterrnin			
			25.10.73	07.11.73	19.11.73	12.12.73
1	0,5	NL	65	37	26	18
	1,0		-	52	46	18
	2,0		18	30	19	11
2	0,5	NL	64	37	38	16
	1,0		-	47	54	20
	2,0		27	28	29	-
3	0,5	KAS	64	34	29	19
	1,0		-	40	35	36
	2,0		31	-	24	-
4	0,5	KAS	65	39	30	26
	1,0		-	-	36	31
	2,0		25	-	25	-
Mittelwerte						
	0,5		64		29	mit abnehmender Tendenz
	1,0		-		39	
	2,0		25		24	

5.2.5 Verlagerung von Phosphat

Die Phosphatgehalte der Bodenlösungen sind in ppm eingezeichnet in der Abbildung 19 für die Testfläche 1 und in Abbildung 20 für die Testfläche 2. Die Höhe der Stickstoffdüngung ist in den beiden Teilabbildungen jeweils die erste Frucht der beiden Fruchtfolgen angeführt. Die Phosphatdüngung erfolgte bei allen Meßflächen in gleicher Höhe von 70 kg P_2O_5 /ha jeweils im Spätherbst.

Von wenigen Ausnahmen abgesehen, bleibt der Phosphatgehalt in allen Tiefen unabhängig von der Höhe und Art der Stickstoffdüngung, von der Zeit und damit auch vom Wassergehalt und der Sickerbewegung.

Die beiden etwas höheren Gehalte unter Sommerweizen im Juli und August 1973 (Testfläche 2, Abbildung 20) in 1 bzw. 2 m Tiefe haben keine Bestätigung durch die benachbarten Werte in dem gleichen Versuch, noch in den anderen Versuchen zu vergleichbarer Zeit und können auch nicht durch Auswaschung

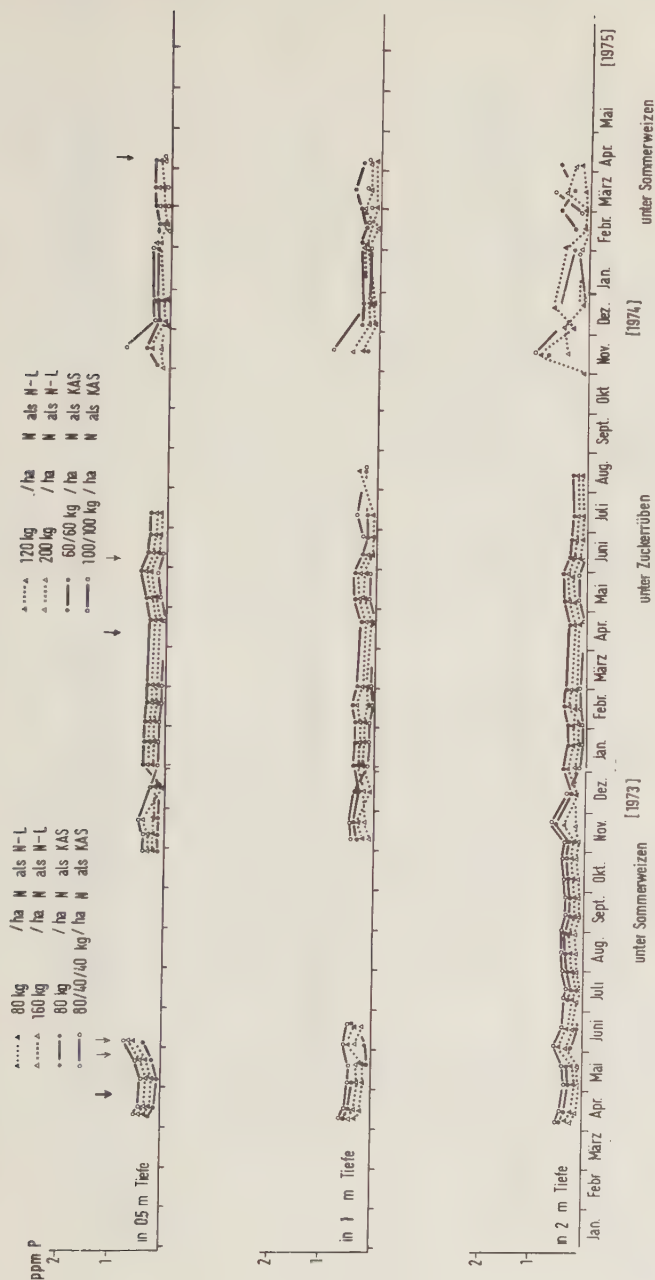


Abb. 19: P-Gehalte in den aus Testfläche 1 entzogenen Bodenlösungen in ppm

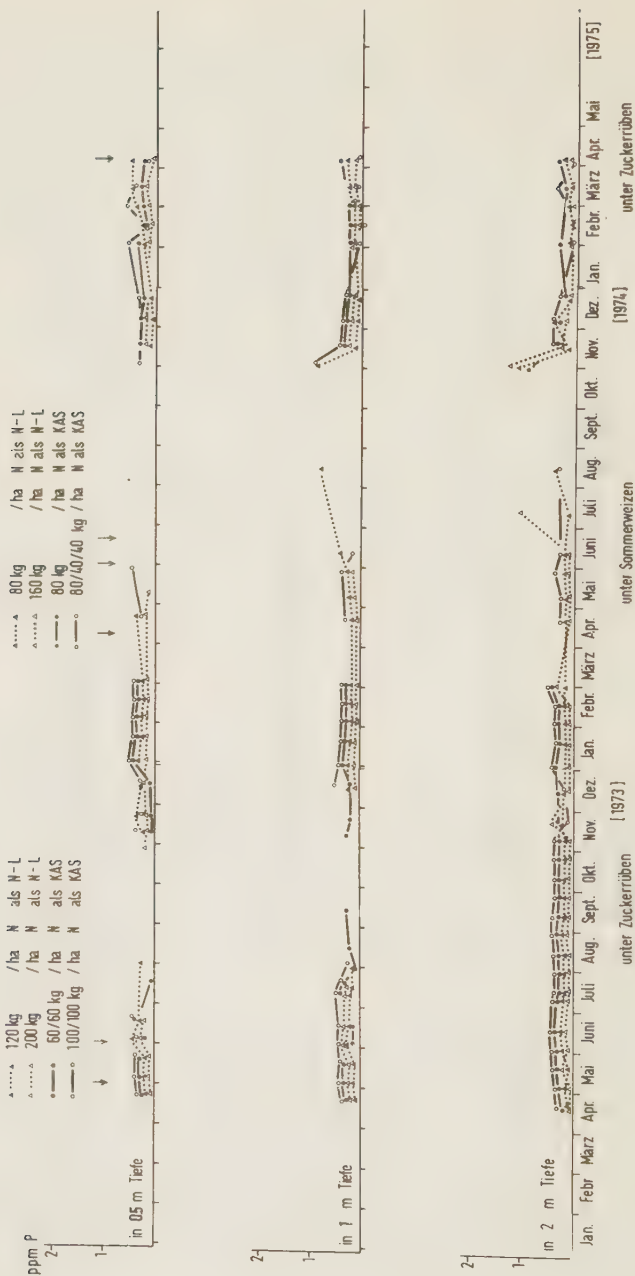


Abb. 20: P-Gehalte in den aus Testfläche 2 entzogenen Bodenlösungen in ppm

erklärt werden, da zu dieser Zeit keine Sickerwasserbewegung vorliegt. Sie sind demnach als Ausreißer zu betrachten.

Etwas anders ist es mit den höheren Werten im Oktober und November 1974: Kurz nach der Düngung im Oktober fielen starke Niederschläge, die eine deutliche Verlagerung von Nitratstickstoff bewirkten. Der Verlauf der Sickerwasserbewegung macht sich aber beim Nitratstickstoff in einem nach unten abnehmenden Gehalt zu Beginn der Sickerwasserbewegung und einer Zeitverschiebung des Höchstwertes Anfang des Jahres 1975 in 2 m Tiefe bemerkbar. Hier beim Phosphat dagegen erfolgt der Anstieg in allen Tiefen zu gleicher Zeit, und ein stärkerer Anstieg tritt sogar in 2 m Tiefe auf. Das könnte bedeuten, daß wasserlösliches Phosphat direkt mit der Sickerwasserfront verlagert und eine geringe Menge in dem nachfolgenden Sickerwasser verlagert wird. Aber dem widerspricht, daß die Neutronensondenmessung für Oktober und November 1974 in 2 m Tiefe noch keinen Anstieg im Wassergehalt und demnach auch keine Sickerwasserbewegung anzeigt. Daß ein ähnlicher Vorgang im November 1973 nur angedeutet ist, wird dann auf die geringeren Niederschläge und damit schwächere Sickerwasserbewegung in diesem Jahre zurückgeführt werden können. Es kann aber auch ein Meßfehler der dann aber zufälligerweise an zwei aufeinanderfolgenden Meßterminen aufgetreten sein muß, nicht völlig ausgeschlossen werden.

Die Art des Stickstoffdüngers und die Höhe der Gaben haben keinen Einfluß auf die "Verlagerung". Werden dagegen alle Meßwerte miteinander verglichen, so liegen die Phosphatgehalte in den Versuchsflächen, die mit Kalkammonsalpeter gedüngt wurden, meistens über denen nach Düngung mit N-Lignin. Bei den sehr geringen absoluten Gehalten und bei der Größe des Meßfehlers des Unterschieds zwischen den Parallelkerzen ist dies jedoch höchstens als ein Hinweis zu betrachten. Die Phosphatgehalte liegen im Schnitt bei ca. 0,4 ppm P, was bei 10 bzw. 5 Gew.% Wasser einer Menge von 0,12 bzw. 0,06 kg P/ha/20 cm entspricht.

Auf Grund der geringen P-Gehalte in den Bodenlösungen ist in Übereinstimmung mit den in der Literatur aus Lysimeter- und anderen Versuchen angegebenen Werten (AMBERGER, 1972; PFAFF, 1963 b; OHLENDORF, 1976) mit einer Auswaschung von P nicht zu rechnen.

5.2.6 Verlagerung von Calcium

Die Gehalte der Bodenlösungen an Calcium sind graphisch für die Testflächen in Abbildung 21 und für die Testfläche 2 in Abbildung 22 dargestellt. Die Mittelwerte der Bestimmungen mit 2 Parallelkerzen und die Standardabweichungen sind im Anhang in den Tabellen 31 - 35 zusammengefaßt.

Die im Jahre 1973 und bis April 1974 mit der Atomabsorptionsspektrometrie erhaltenen Meßwerte können nicht als absolute Gehaltsbestimmungen betrachtet werden, da die in dieser Zeit - auch in anderen Meßserien - bestimmten Gehalte nicht mit denen übereinstimmen, die mit anderen Methoden ermittelt werden konnten. Dieser Fehler in der Eichung konnte erst im April 1974 festgestellt werden. Eine Umrechnung auf wirkliche Gehalte wurde nicht vorgenommen, da der erforderliche Umrechnungsfaktor nicht sicher genug festgestellt werden konnte. Die Unterschiede in den Meßwerten, auf die es bei vorliegenden Untersuchungen in erster Linie ankommt, können aber auch in dieser Zeit zur Auswertung herangezogen werden.

Es zeigt sich auf beiden Testflächen im Jahre 1973 im Monat Juni in allen Tiefen ein Konzentrationsmaximum. Da es in allen Tiefen gleichzeitig auftritt, kann es nicht auf eine Verlagerung zurückgeführt werden, sondern mit einer Konzentrierung der Bodenlösung durch die Verminderung des Wassergehalts des Bodens zusammenhängen. Die Abnahme der Konzentration im Juli und auch Anfang August in 2 m Tiefe, angedeutet auch in den wenigen Meßdaten in 1 m Tiefe unter Zuckerrüben, und der erneute Anstieg Mitte August und Anfang September sind bei fehlender Sickerwasserbewegung ebenfalls nicht auf eine Auswaschung zurückzuführen. Möglicherweise sind diese Veränderungen durch Unterschiede in der Löslichkeit von Calciumverbindungen der Bodenlösung zu erklären, jedoch kann hierfür durch die vorliegenden Untersuchungen kein Beweis erbracht werden. Daß es sich bei diesen Differenzen möglicherweise aber auch um zufällige Änderungen handeln kann, läßt sich aus den Ergebnissen des Jahres 1974 schließen. Dort wird ebenfalls der Konzentrationsanstieg an Calcium in den Bodenlösungen im Mai/Juni gefunden, jedoch die Konzentrationsminderung im Juni wird nicht beobachtet. Da in allen Tiefen diese Unterschiede unregelmäßig auftreten, ist auch der Rückschluß über eine Konzentrierung durch Abnahme des Wassergehaltes problematisch, da der Wassergehalt in 0,5 m und 1 m Tiefe schneller sinkt als in 2 m Tiefe.

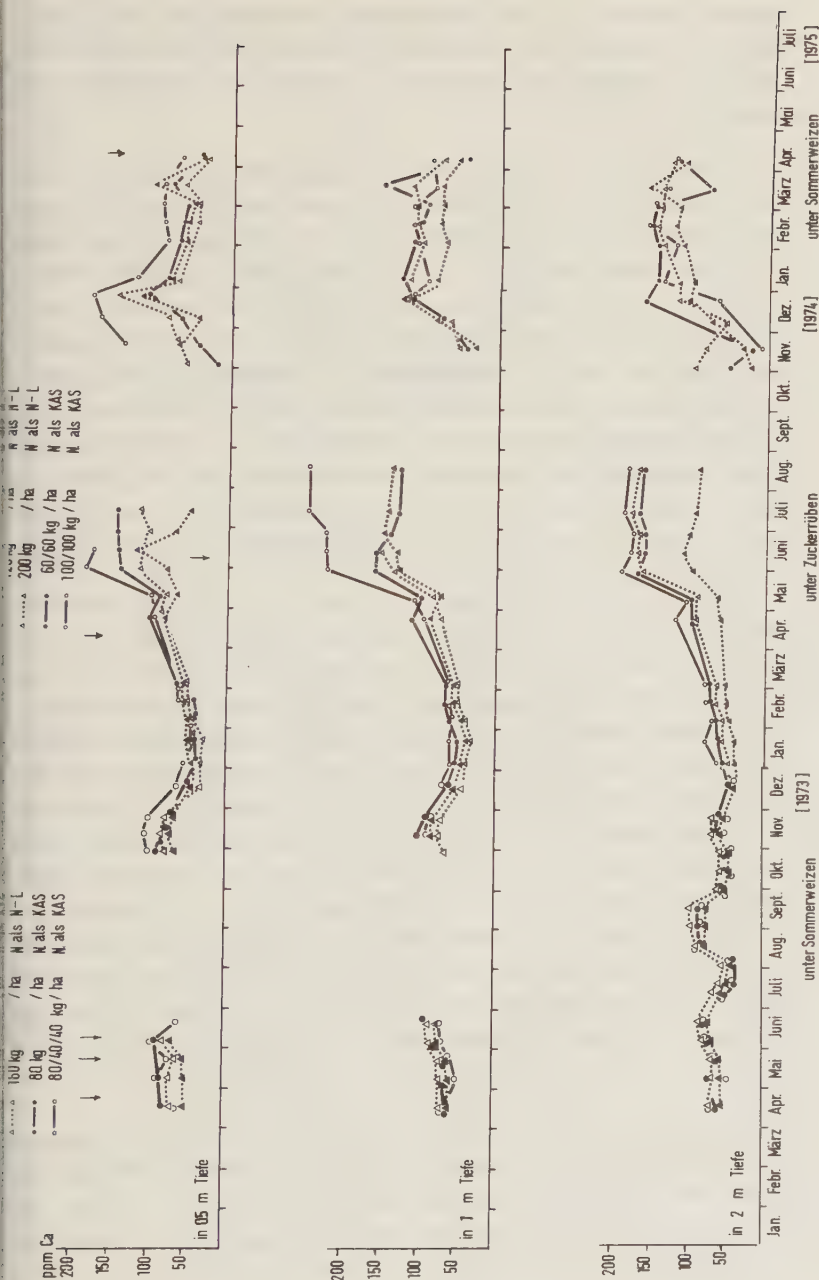


Abb. 21: Calciumgehalte in den aus Testfläche 1 entzogenen Bodenlösungen in ppm

Dagegen erscheint die Verminderung des Calciumgehaltes zum Oktober 1974 reell, da im Jahre 1974 die Konzentration nach der Unterbrechung der Bodenlösungen im September und Oktober 1974, bedingt durch Austrocknung des Bodens, ebenfalls niedrig ist.

Ein Einfluß der zugeführten Stickstoffdüngemittel auf die Calciumgehalte der Bodenlösung ist nicht eindeutig. Während sich 1974 unter Zuckerrüben der CaCO_3 -Gehalt des Kalkammonsalpeters in einer Erhöhung des Calciumgehaltes in den Bodenlösungen aus 0,5 und 1 m Tiefe sogar mit der Andeutung eines Einflusses der Höhe der Gabe zeigt, ist unter Sommerweizen bei der niedrigen Düngergabe dieser Effekt nur schwach bis zum Ende April angedeutet. Die wenigen Meßdaten, die bei der stärkeren Austrocknung des Bodens unter Sommerweizen danach noch erhalten werden können, vermitteln sogar den Eindruck, daß nach Düngung mit N-Lignin der Calciumgehalt der Bodenlösung erhöht wird. Diese Beobachtung wird aber nicht durch die Messungen bei wieder eintretender Sickerwasserbewegung im Herbst 1974 bestätigt. Auch nach der Düngung mit Kalkammonsalpeter wird kein erhöhter Calciumgehalt mehr gefunden.

Nach den starken Niederschlägen im Oktober 1974 tritt eine deutliche Lagerung von Calcium in tiefere Bodenschichten ein. In den in 0,5 m Tiefe geförderten Bodenlösungen wird nach dem Anbau von Sommerweizen ein doppelt so hoher Calciumgehalt gefunden als nach dem Anbau von Zuckerrüben. Den Zuckerrüben scheinen demnach erheblich mehr Calcium entzogen zu haben als den Sommerweizen. Im Herbst 1973 war kein derartiger Unterschied bei den beiden Pflanzenarten gefunden worden. Die auf den beiden Testflächen ermittelten Höchstmengen bedeuten nach der Umrechnung auf eine Bodenschicht 20 cm Mächtigkeit um die 0,5 m Kerze mit einem Wassergehalt von annähernd 12 % für die Testfläche 1 (nach Zuckerrüben) bei ca. 150 ppm gleich 5 t Calcium/ha/20 cm, für die Testfläche 2 (nach Sommerweizen) bei ca. 330 ppm gleich 120 kg Calcium/ha/20 cm. In der Testfläche 1 steigt der Calciumgehalt in den Bodenlösungen in 0,5 m Tiefe von im Mittel 50 ppm Anfang November auf 150 ppm zum Jahreswechsel an, um dann langsam auf den Ausgangswert im April abzunehmen.

In 1 m Tiefe steigen die Gehalte von im Mittel 50 ppm auf 130 ppm und zwar zu den gleichen Zeiten wie in 0,5 m Tiefe an, jedoch ist der anschließende Konzentrationsabfall geringer und langsamer. Auch bei 2 m erfolgt der Konzentrationsanstieg in der gleichen Größenordnung und Zeit wie in den anderen Tiefen, jedo-

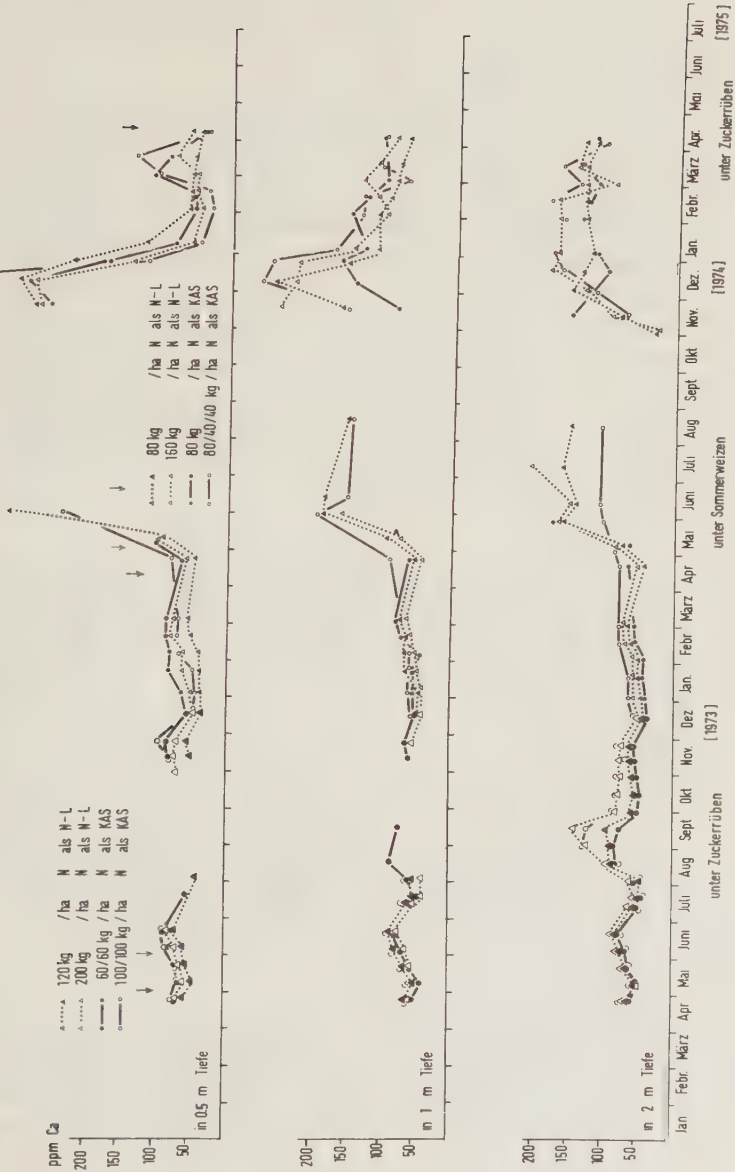


Abb. 22: Calciumgehalte in den aus Testfläche 2 entzogenen Bodenlösungen in ppm

nach dem Jahreswechsel keine Konzentrationsabnahme, sondern ein Gleichbleiben der Konzentration bis zum April 1975 zu beobachten. Die eindeutige Verminderung der Konzentration in 0,5 m, die geringere Minderung in 1 m Tiefe und die gleichbleibende Konzentration in 2 m Tiefe zeigen eine deutliche Auswaschung von Calcium in tiefere Bodenschichten unter Verarmung der darüberliegenden an.

In der Testfläche 2 wird im Prinzip derselbe Ablauf der Konzentrationsänderungen gemessen, jedoch stärker ausgeprägt durch die höhere Ausgangskonzentration in 0,5 m Tiefe. In 0,5 m und in 1 m Tiefe wird das Maximum der Konzentration fast 1 Monat früher erreicht als bei Testfläche 1. Nach dem Jahreswechsel sind die Gehalte in 0,5 m Tiefe in beiden Flächen gleich, in 1 m Tiefe in Testfläche 2 etwas höher. In 2 m Tiefe sind sie wieder in beiden Flächen gleich. Der Unterschied zwischen den beiden Testflächen ist also nur in den Monaten November und Dezember 1974 vorhanden.

Wird wie für den Nitratstickstoff (Abschnitt 5.2.1, Seite 49) eine Auswaschung von Calcium berechnet, ergeben sich für die verschiedenen Meßflächen nach Anbau von Sommerweizen:

	ppm Ca			Auswaschung
	am 19.12.74	19.03.75	Differenz	
niedrige Gabe N-Lignin	130	13	117	58,5 kg Ca/h
hohe Gabe N-Lignin	172	15	157	78,5 kg Ca/h
niedrige Gabe KAS	95	14	81	40,0 kg Ca/h
hohe Gabe KAS	157	17	140	70,0 kg Ca/h

Aus diesen Werten ergibt sich ein deutlicher Einfluß des N-Lignins auf die Calciumauswaschung, die sich auf den Boden noch dadurch negativer auswirkt als mit Kalkammonsalpeter nicht unerhebliche Calciummengen zugeführt werden. Ähnliche Werte werden bei der Berechnung für die Meßflächen nach Anbau von Zuckerrüben erhalten, jedoch in geringerer Menge.

5.2.7 Verlagerung von Magnesium

Wie bei Calcium macht sich auch bei Magnesium der Fehler in den Messungen mit der Atomabsorptionsspektrometrie im Jahre 1973 und in den ersten Monaten des Jahres 1974 bemerkbar. Erst die von April 1974 ab gemessenen Konzentra-

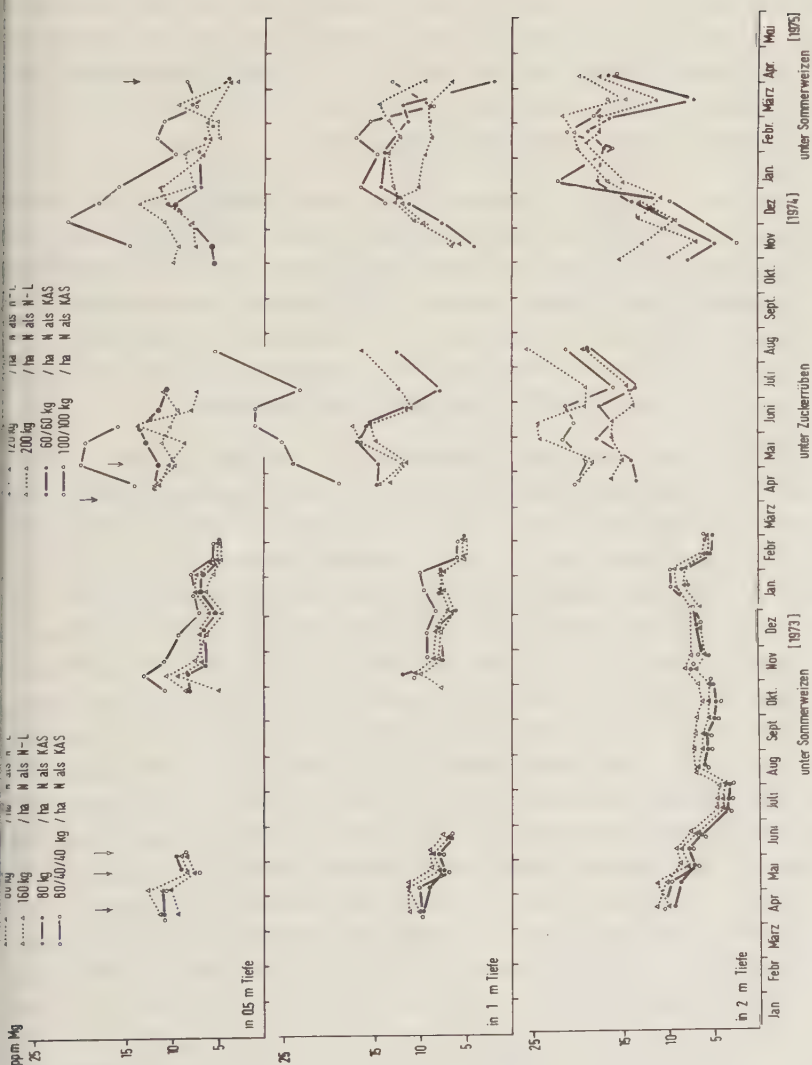


Abb. 23: Magnesiumgehalte in den aus Testfläche 1 entzogenen Bodenlösungen in ppm

können als wirkliche Gehalte betrachtet werden. Auf eine Umrechnung der davor bestimmten Werte wurde verzichtet, da einerseits nicht auszuschließen ist, daß der Fehler nicht proportional über den ganzen Meßbereich auftrat und andererseits in erster Linie ein Vergleich der Wirkung verschiedener Düngemittel in verschiedener Höhe auf die Verlagerung des Magnesiums untersucht werden sollte. Die Mittelwerte und die Standardabweichungen der Meßwerte sind im Anhang in den Tabellen 36 - 40 der Abbildung 23 und für die Testfläche 2 in der Abbildung 24 dargestellt.

Beide verwendeten Stickstoff-Düngemittel enthalten Magnesium nur in Spuren, und eine zusätzliche Zufuhr von Magnesium mit anderen Düngern erfolgte nicht. Die Magnesiumgehalte in den Test- und Versuchsflächen sind also allein von den Ausgangsgehalten im Boden abhängig. Es wird deshalb hier wie auch schon bei der Beschreibung der Verlagerung des Calciums auf eine Unterteilung der Darstellung in die beiden angebauten Fruchtfolgen verzichtet, sondern die Ergebnisse jeweils für die Versuchsjahre zusammengefaßt.

Im Jahre 1973 nimmt der Gehalt an Magnesium unter beiden Früchten in allen Entnahmetiefen, unabhängig von der Art und Menge des zugegebenen Düngemittels, von Beginn der Vegetationszeit bis zum Juli annähernd linear ab. Die nicht durch zu starke Austrocknung des Bodens unterbrochene Meßreihe der Entnahmetiefe in 2 m zeigten einen Wiederanstieg der Magnesiumkonzentrationen im August. Dieser Anstieg wird auch in 1 m Tiefe unter Zuckerrüben gefunden. Die ersten Messungen im Anfang November 1973 und im Anfang Januar 1974 zeigen nochmals eine geringe Erhöhung der Magnesiumkonzentrationen gegenüber einer annähernd gleichbleibenden Konzentration von August 1973 bis Ende Januar 1974. Diese beiden Maxima werden in allen drei Entnahmetiefen zum gleichen Zeitpunkt gefunden und können damit nicht auf eine Verlagerung zurückgeführt werden. Auch Veränderungen im Wassergehalt und eine damit verbundene Konzentrationsänderung durch Verdünnung oder Konzentrierung der Bodenlösung können nicht hierfür verantwortlich sein, da sich die Wassergehalte in den verschiedenen Tiefen nicht in gleicher Weise ändern. Diese Änderungen der Gehalte wie auch die im Februar 1974 in allen Messungen gefundene Verminderung der Magnesiumgehalte müssen deshalb als Meßwerte betrachtet werden.

Die ab April 1974 ermittelten Gehalte an Magnesium in den Bodenlösungen sind deutlich höher als die zuvor gemessenen. Sie weisen unter Zuckerrüben vor allem für die Entnahme aus 1 und 2 m Tiefe einen größeren Unterschied

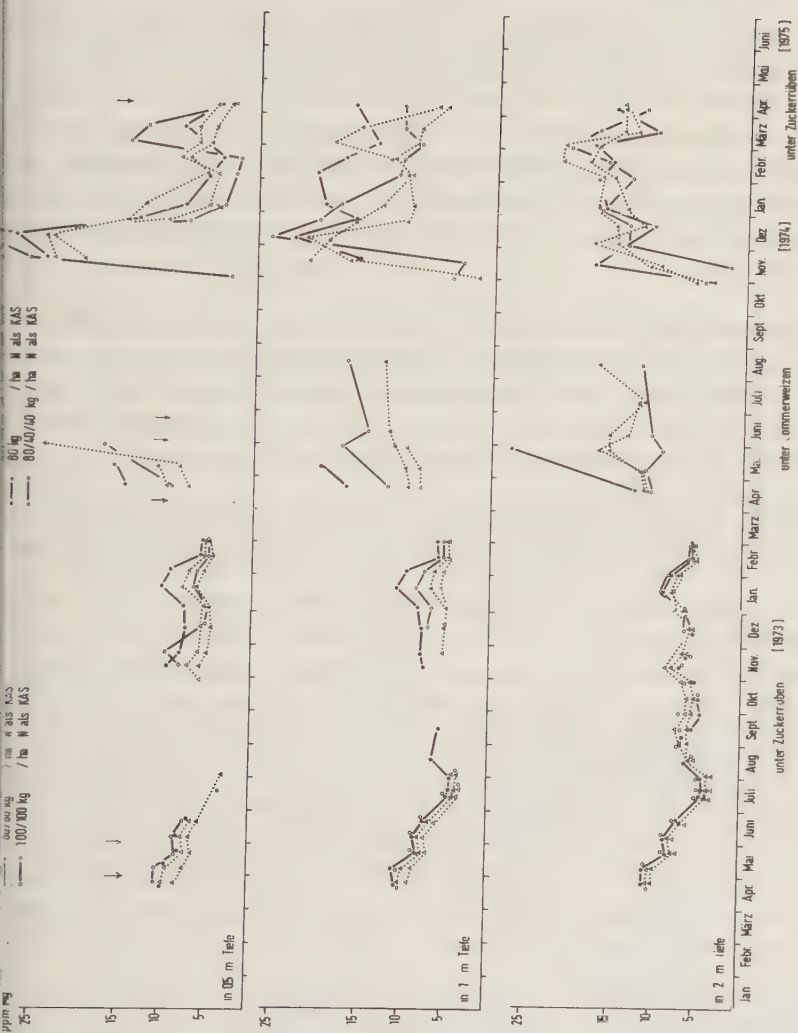


Abb. 24: Magnesiumgehalte in den aus Testfläche 2 entzogenen Bodenlösungen in ppm

als unter Sommerweizen auf. Stärker als der Anstieg in den Meßwerten macht sich eine Vergrößerung der Unterschiede in den Meßwerten der zwei Parallelkerzen im Anstieg der Standardabweichung bemerkbar (s. Tabelle 38 im Anhang).

Während 1973 eine gleichmäßige Verringerung der Magnesiumgehalte innerhalb der Meßzeit von April - Juni unabhängig von Entnahmetiefe, Düngung und Pflanzenbestand festgestellt wurde, ist im Jahre 1974 nur unter Zuckerrüben eine Tendenz zur Abnahme der Werte und unter Sommerweizen eine solche zur Zunahme im Verlauf der Meßzeit von April bis Juli zu beobachten. Dieser Unterschied kann vielleicht auf den stärkeren Wasserverlust unter Sommerweizen und damit eine stärkere Konzentrierung der Bodenlösung zurückgeführt werden.

Ein eindeutiger Einfluß eines der beiden Düngemittel auf die Konzentration von Magnesium in der Bodenlösung ist nicht feststellbar, wenn auch unter Zuckerrüben die mit hohen Kalkammonsalpetergaben gedüngten Meßflächen in 0,5 und 1 m Tiefe und unter Sommerweizen bei beiden Kalkammonsalpetergaben in 1 m Tiefe einen höheren Gehalt an Magnesium aufweisen.

Alle Meßwerte der ersten Messung nach der durch Trockenheit bedingten Meßpause liegen deutlich unter denen, die vor der Meßpause bestimmt wurden.

In der nun folgenden Phase zunehmender Sickerwasserbewegung werden im Gegensatz zu den Messungen des Jahres 1973 graduelle Unterschiede in der Veränderung der Gehalte an Magnesium in Abhängigkeit von Zeit und Tiefe in den mit verschiedenen Feldfrüchten während der Vegetationszeit bestellten Meßflächen gefunden. Der Ablauf dieser Veränderungen deutet auf einen Transport von Magnesium mit dem Sickerwasser hin. Nach dem Anbau von Zuckerrüben tritt in 0,5 m Tiefe ein geringer Konzentrationsanstieg von 10 ppm auf 15 ppm zur Jahreswende mit einer darauffolgenden Verminderung des Gehaltes auf 5 ppm im April 1975 ein. Das bedeutet bei einem mittleren Wassergehalt von 12 % eine Mengenänderung von ca. 4 auf 5,5 und anschließend auf ca. 2 Magnesium/ha/20 cm.

In 1 m Tiefe erfolgt der Konzentrationsanstieg von ca. 5 ppm ausgehend auf 15 ppm zu einem etwas späteren Zeitpunkt und über eine längere Zeitdauer Anfang Januar bis Anfang März. Im April folgt eine nur angedeutete Konzentrationsabnahme auf 8 ppm.

In 2 m Tiefe tritt der Konzentrationsanstieg durch den späteren Sickerwasserzutritt deutlich erst Ende Januar auf und bleibt bis Anfang März erhalten. Von 5 ppm ausgehend wird ein Höchstwert von rund 20 ppm erreicht. Der Konzentrationsabfall bei der Messung im März muß als Ausreißer betrachtet werden, da kein derartiger Abfall bei 1 m gemessen wurde, der eine Verminderung der Zufuhr von Magnesium mit dem Sickerwasser erklären ließe und da die Messung im April wieder höhere Werte aufweist.

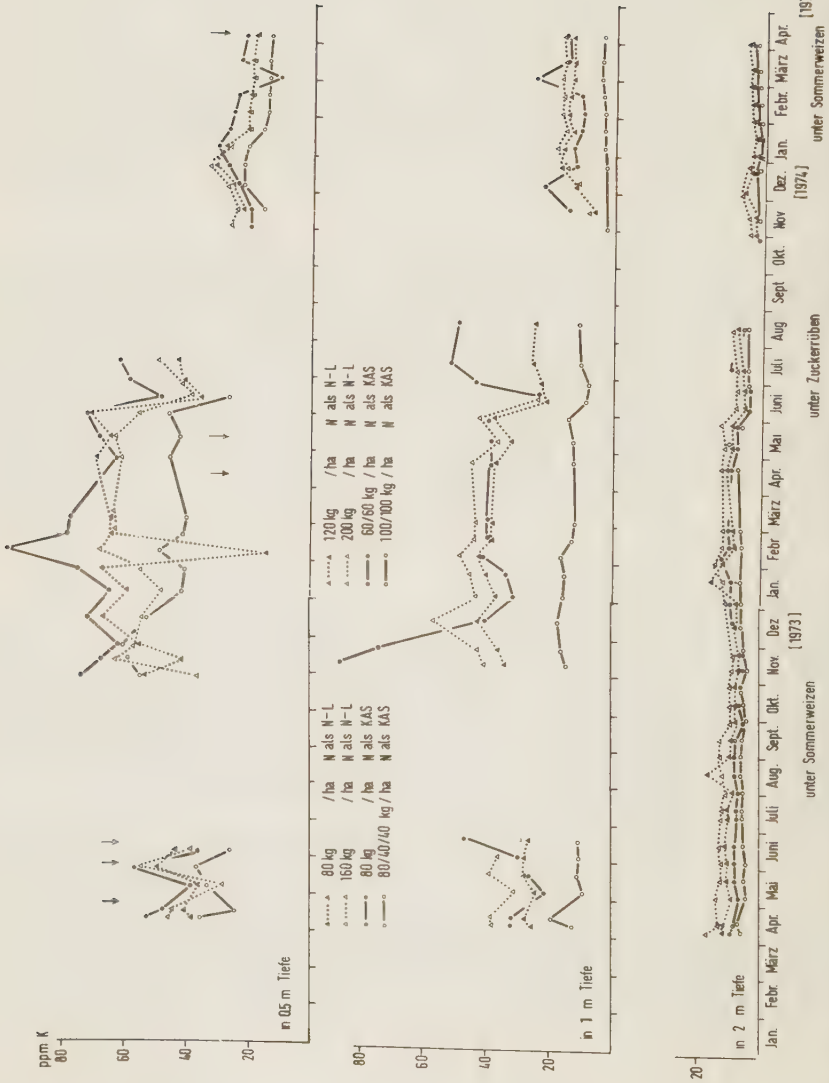
Nach dem Anbau von Sommerweizen wird eine der oben beschriebenen Zeitverschiebung entsprechende Konzentrationsänderung in den verschiedenen Meßtiefen gefunden, jedoch sind die verlagerten Mengen an Magnesium höher und die Veränderung der Bodenlösung in 0,5 m Tiefe etwas früher und ausgeprägter als unter Zuckerrüben.

Ende November werden in 0,5 m Tiefe im Mittel 25 ppm Magnesium gefunden. Die Menge vermindert sich ab Dezember durchschnittlich um 15 ppm auf 10 ppm ohne eine weitere gesicherte Verminderung bis April 1975. Auch in 1 m Tiefe tritt der Konzentrationsanstieg bereits Anfang Dezember ein, und ein Gehalt von im Mittel 22 ppm Magnesium wird erreicht. Im weiteren Verlauf der Meßzeit tritt eine geringe Verminderung der Magnesiumgehalte ein, jedoch werden noch rund 15 - 12 ppm gemessen. Die Gehaltsänderungen in 2 m Tiefe sind mit denen unter Zuckerrüben gleich, setzen aber auch hier etwas früher ein.

5.2.8 Verlagerung von Kalium

Die Kaliumdüngung erfolgte zusammen mit der Phosphatdüngung jeweils im Spätherbst in einer Gabe von 140 kg/ha K_2O . Die in den Bodenlösungen gemessenen Konzentrationen an Kalium sind für die Testfläche 1 in Abbildung 25 und für die Testfläche 2 in Abbildung 26 und die Mittelwerte und Standardabweichungen im Anhang in den Tabellen 41 - 46 zusammengestellt.

Werden die Meßwerte der beiden Testflächen miteinander verglichen, so sind die Gehalte an Kalium in den Bodenlösungen der Testfläche 1 in allen Tiefen höher als in der Testfläche 2, entsprechend den Unterschieden, wie sie im Nitratstickstoffgehalt festgestellt wurden. Der Ablauf der Konzentrationsänderungen in Abhängigkeit von der Zeit ist auf beiden Testflächen ähnlich.



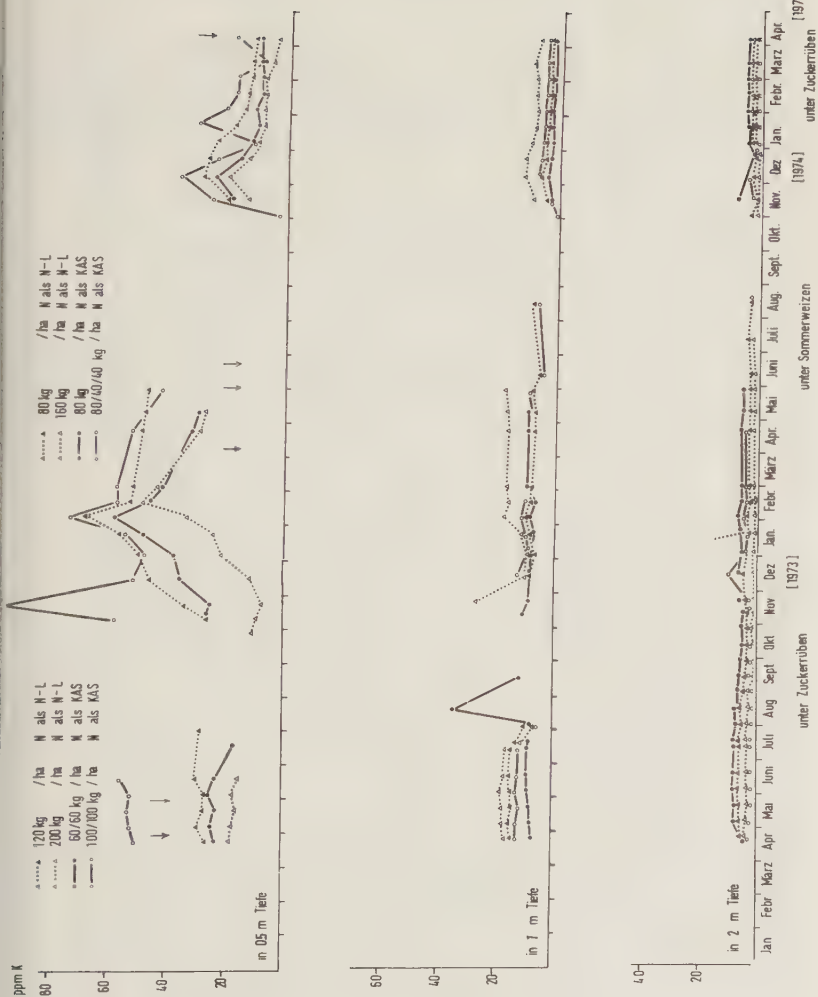


Abb. 26: Kaliumgehalte in den aus Testfläche 2 entzogenen Bodenlösungen in ppm

Ein Einfluß der beiden unterschiedlichen Stickstoffdüngemittel ist nicht eindeutig erkennbar. Während in Testfläche 1 nach Düngung mit der hohen Gabe an Kalkammonsalpeter die niedrigsten Kaliumgehalte in 0,5 und 1 m Tiefe erhalten werden, sind in 0,5 m Tiefe in Testfläche 2 bei dieser Düngung die höchsten Werte zu verzeichnen. Die größten Veränderungen in den Kaliumgehalten werden in 0,5 m Tiefe gefunden, geringere in 1 m Tiefe und ein fast konstanter und niedriger Gehalt in 2 m Tiefe.

Es scheint demnach zwar eine geringfügige Verlagerung von Kalium zu 0,5 einzutreten, von einem noch geringeren Transport zu 1 m Tiefe gefolgt. Darüber hinaus jedoch ist keine Verlagerung bzw. Auswaschung aus dem Wurzelbereich heraus bis zu einer Tiefe von 2 m zu beobachten.

Dieser Befund steht in Übereinstimmung mit den Angaben der Literatur (AMBERGER, 1969; BOBRITZKAYA, 1969; JUNG und DRESSEL, 1969; WEISE, 1971; LOHSSE, 1977) über niedrige Auswaschungsverluste von Kalium.

Werden beim Kalium die Konzentrationsänderungen in Abhängigkeit von der Tiefe mit denen von Calcium verglichen, ergibt sich ein frappierender Unterschied. Während beim Calcium im Übergang von 1973 auf 1974 keine Verlagerung bzw. Auswaschung, wohl aber eine solche im Übergang von 1974 auf 1975 zu beobachten war, ist hier beim Kalium genau das Entgegengesetzte der Fall.

5.2.9 pH und Leitfähigkeit der entzogenen Bodenlösungen

Die gemessenen pH-Werte sind für die Testfläche 1 in Abbildung 27 und für die Testfläche 2 in Abbildung 28 aufgezeichnet. Die pH-Werte der Bodenlösungen liegen um den Neutralpunkt zwischen pH 6 und 8, d. h. in einem Bereich, in dem bei der geringen Pufferkapazität der Bodenlösungen bereits geringe Änderungen der Wasserstoffionenkonzentration zu deutlichen Änderungen im pH-Wert führen.

Weder das gegebene Düngemittel noch die Höhe der Düngung haben einen deutlichen Einfluß auf den pH-Wert der Bodenlösungen. Nur in 2 m Tiefe sind pH-Werte nach Düngung mit N-Lignin etwas höher. Hierfür dürfte der höhere Gehalt an Calcium (s. Seite 72) verantwortlich sein. Im Jahre 1973 wurden in beiden Testflächen, d. h. unter beiden Feldfrüchten ein Anstieg der pH-Werte von April zu Juni in allen Meßtiefen gefunden. Darauf folgt ein Absinken



Abb. 28: pH der aus Testfläche 2 entzogenen Bodenlösungen

wie es sich in der Juni-Messung in 1 m Tiefe andeutet. In 2 m Tiefe ist ein Minimum im Juli angedeutet. Diese Änderungen im pH-Wert laufen mit den Unterschieden in der Konzentration von Calcium und Magnesium parallel.

Auch der Wiederanstieg der pH-Werte im Spätherbst und der schwache Abfall zum Frühjahr 1974 entspricht in Näherung der Veränderung der Calcium- und Magnesiumkonzentrationen. Nicht verständlich sind die sprunghaften Veränderungen in den pH-Werten am Jahresübergang 1973/74 in den aus der Testfläche 1 entzogenen Bodenlösungen (Abbildung 27) und die niedrigeren pH-Werte in allen Messungen von Januar bis April in diesen Flächen. Dieser Abfall ist auch dann nicht erklärbar, wenn die Messung im Dezember unberücksichtigt bleibt und damit ein direkter Anschluß der Meßergebnisse, wie er in den Meßwerten der Lösungen von Testfläche 2 vorliegt, hergestellt wird.

Der deutliche pH-Anstieg in den Bodenlösungen im April 1974 stimmt mit den Konzentrationszunahmen an Calcium und Magnesium überein. Während im Sommer die Gehalte an den beiden Erdalkalien annähernd unverändert bleiben, sinkt danach der pH-Wert vor allem in den aus Testfläche 1 entzogenen Bodenlösungen von 8 auf 6 ab. Es kann hier auch keine Beziehung zu den Gehalten an Nitratstickstoff hergestellt werden, da sich dort deutliche Unterschiede zwischen den Düngungsvarianten zeigten, die bei den pH-Werten jedoch nicht auftreten. Diese Unterschiede korrelieren möglicherweise mit Ionen, die in den durchgeführten Bestimmungen nicht erfaßt werden, wie Chlor oder Sulfat.

Vom Herbst 1974 bis zum Frühjahr 1975 bleiben die pH-Werte ziemlich unverändert, mit einer ganz leicht steigenden Tendenz. Der zwischen den beiden Testflächen im gleichen Zeitraum ein Jahr zuvor beobachtete Unterschied in den pH-Werten tritt nicht auf. Im Durchschnitt sind die pH-Werte gegenüber dieser Zeitperiode etwas höher, vor allem auf Testfläche 1, was mit den höheren Gehalten an Calcium und Magnesium in den Lösungen im Zusammenhang stehen dürfte, wenn hierbei auch die bei der Darstellung der Meßergebnisse der Calcium- und Magnesiumbestimmung erwähnte Fehler in den Messungen mit berücksichtigt werden muß.

Die Leitfähigkeit von Mischlösungen verschiedener Ionen mit unterschiedlicher Äquivalentleitfähigkeit und in unterschiedlicher Konzentration, wie sie die Bodenlösungen darstellen, kann nur Anhaltswerte für Unterschiede in der Konzentration liefern. Da jedoch die Messung schnell durchführbar ist

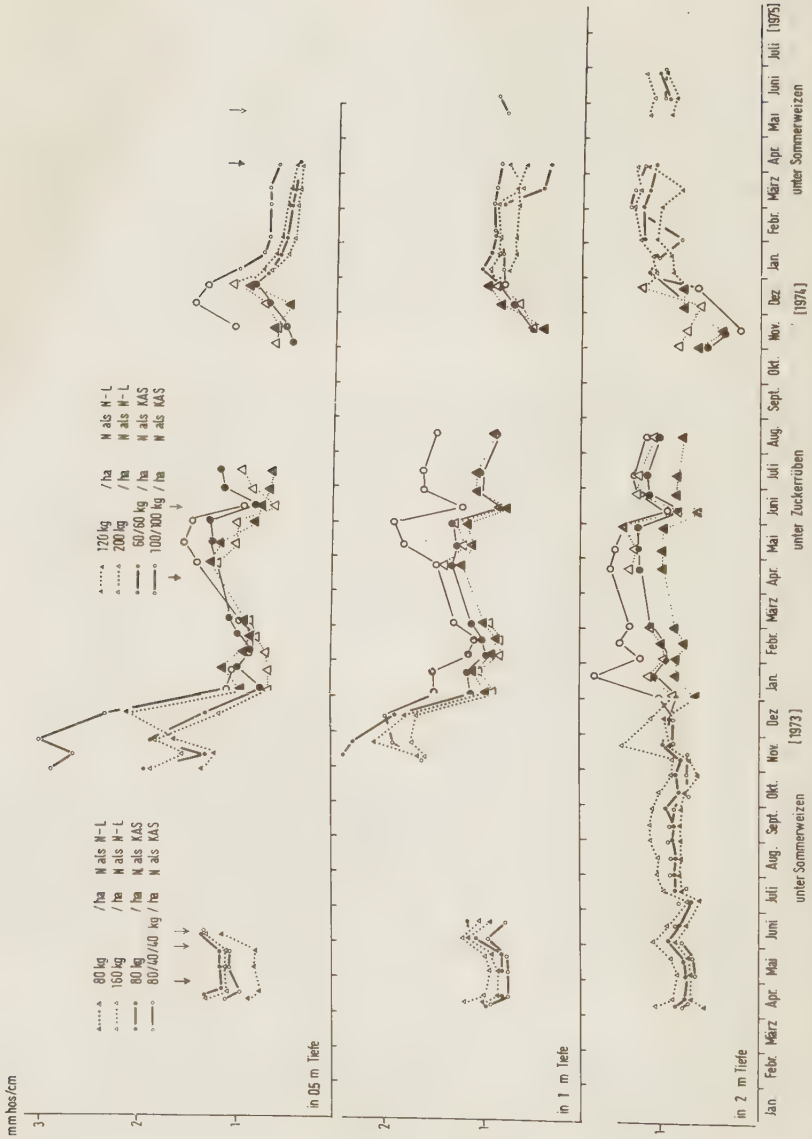


Abb. 29: Leitfähigkeit der aus Testfläche 1 entzogenen Bodenlösungen

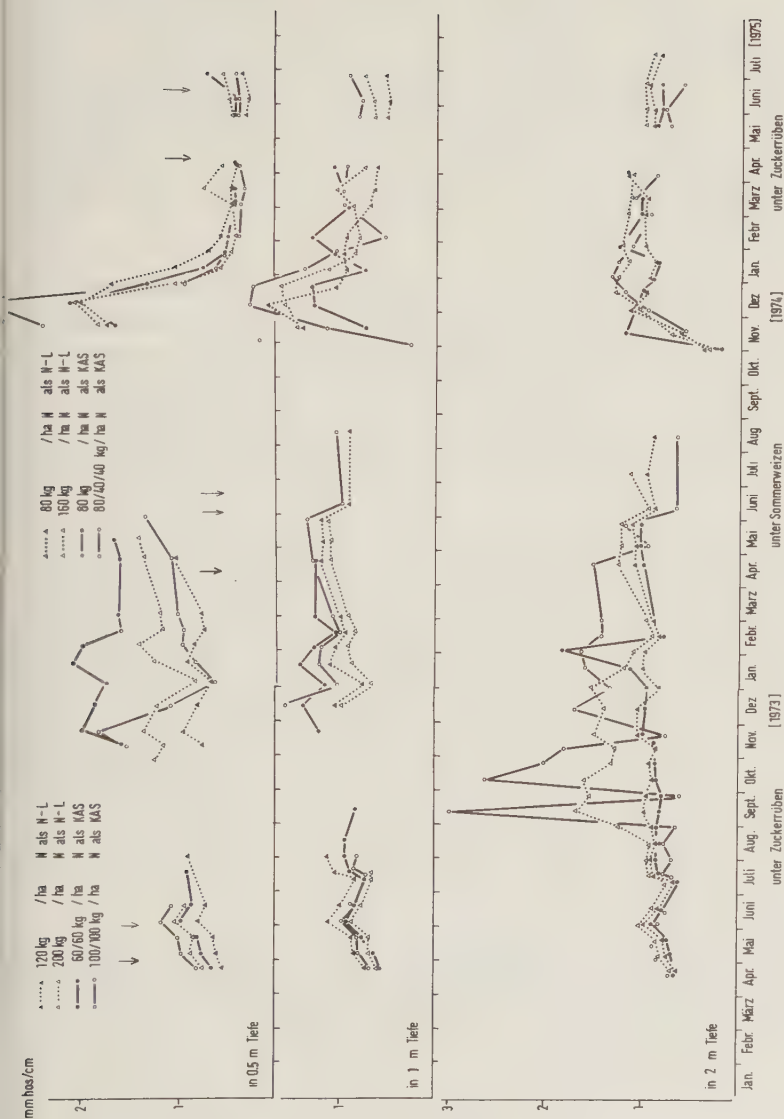


Abb. 30: Leitfähigkeit der aus Testfläche 2 entzogenen Bodenlösungen

und dabei kein Verlust an Lösung eintritt, wurden diese Anhaltswerte mit bestimmt. Die Ergebnisse sind in Abbildung 29 für die Testfläche 1 und Abbildung 30 für Testfläche 2 dargestellt. In diesen Abbildungen sind auch die Ausreißer mit eingetragen, die vor allem im Jahre 1973 in den aus 2 m Tiefe entzogenen Lösungen gemessen worden waren (Abbildung 30). Der in anderen Messungen gefundene Jahresgang, mit annähernd gleichbleibenden Konzentrationen im Sommerhalbjahr und dem starken Anstieg bei eintreten Sickerwasserbewegung jeweils im Oktober bis November, mit Zeitverschiebung des Maximums bei zunehmender Entnahmetiefe, wird auch in den Leitfähigkeitswerten gefunden.

Am deutlichsten ist hierbei die Übereinstimmung mit den Konzentrationsänderungen an Nitratstickstoff. Wie in Abbildung 16 (Nitratstickstoffgehalt Testfläche 1) wird in Abbildung 29 (Leitfähigkeit) der Einfluß der Düngungsart und -höhe im November/Dezember 1973 deutlich wiedergegeben. Auch der hohe Gehalt an Nitratstickstoff im Januar bis März 1974 in Testfläche 2 in 0,5 m Tiefe (Abbildung 17) findet sich in der Leitfähigkeit (Abbildung 29) wieder. Diese Übereinstimmung zwischen Nitratstickstoffgehalt und Leitfähigkeit bis Frühjahr 1974 scheint damit zusammenzuhängen, daß andere Ionen der Bodenlösung, wie vor allem Calcium und Magnesium in dieser Zeit in relativ geringen Konzentrationen vorliegen. Nimmt der Gehalt an diesen Ionen zu, wie es nach diesem Zeitpunkt beobachtet wurde (Abbildungen 32 - 35), verwischt sich auch der Zusammenhang zwischen Leitfähigkeit und Nitratstickstoffgehalt. Nur noch andeutungsweise sind die Unterschiede im Nitratstickstoffgehalt im Übergang 1974/75 in den Leitfähigkeitswerten wiederzuerkennen. Dennoch ist auch in dieser Periode die schnelle Abnahme der Konzentration an gelösten Stoffen mit einsetzender Sickerwasserbewegung in 0,5 m Tiefe und der Anstieg der Konzentration und die Zeitverschiebung des Maximums in 1 und 2 m Tiefe mit fortschreitender Sickerwasserbewegung in den Leitfähigkeitswerten ersichtlich.

Die Leitfähigkeit der Bodenlösungen liegt fast bei allen Meßzeiten bei ungefähr 1 mS, nur in Zeit mit starken Gehaltsanstiegen, vor allem an Nitrat, können Werte von bis zu 3 mS erreicht werden.

5.3 Erträge und Stickstoffentzüge

Der Feldversuch, in dessen Parzellen die Saugkerzen eingebaut waren, die Zeiternten, die Aufwuchsanalyse, die Ernte und die Analyse der Ernteprodukte wurden durch das Institut für Pflanzenbau und Saatgutforschung der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft durchgeführt. Die Auswertung dieses Versuchsteils und die Veröffentlichung der Ergebnisse des Gesamtversuches, der über 5 Jahre mit 4 Fruchtfolgen und 3 Düngesteigerungsstufen der zwei Stickstoffdüngerformen lief, liegt in der Hand dieses Institutes. Eine Reihe von Daten, die zur Erläuterung der Befunde der vorliegenden Arbeit von Bedeutung sind, wurde dankenswerterweise zur Verfügung gestellt. Diese Daten werden in derselben Gruppierung zusammengestellt, wie sie für die Darstellung der Ergebnisse der Untersuchungen an den Bodenlösungen gewählt worden war. Die Erträge und Stickstoffentzüge der Testfläche 1 mit der Fruchtfolge Sommerweizen - Zuckerrüben - Sommerweizen sind im oberen Teil der Tabelle 11 und die der Testfläche 2 mit der Fruchtfolge Zuckerrüben - Sommerweizen - Zuckerrüben im unteren Teil der Tabelle 11 zusammengefaßt.

Bei den Sommerweizenernten wurde das Stroh nicht mit erfaßt, so daß hier sowohl die Erträge als auch die Stickstoffentzüge fehlen. Auf Grund früherer Versuche auf dem gleichen Feldstück unter den gleichen Bedingungen der Düngung und der Fruchtfolge und aus parallellaufenden Versuchen kann der Stickstoffentzug durch das Sommerweizenstroh mit ungefähr der halben Menge des Stickstoffentzuges durch das Korn angesetzt werden. Die Unterschiede zwischen den beiden Düngemitteln treten deshalb noch deutlicher in Erscheinung als beim Korn, so daß sich der Gesamtentzug deutlicher unterscheidet als es der in der Tabelle angegebene N-Entzug durch das Korn anzeigt.

Im Jahre 1973 sind die Sommerweizenerträge und die Stickstoffentzüge auf Testfläche 1 sehr niedrig gegenüber denen der anderen Versuchsjahre. Mit den geringeren Stickstoffgaben werden höhere Erträge erzielt, die Variante mit dem niedrigsten Stickstoffentzug erbrachte den höchsten Ertrag. Die Ertragsunterschiede zu den hohen Stickstoffgaben sind jedoch nicht gesichert. Auch bei den Stickstoffentzügen ist nur die Differenz zwischen dem niedrigsten und dem höchsten Entzug statistisch gesichert. Auch wenn die Stickstoffentzüge durch Stroh mit einbezogen werden, erreichen die Entzüge nicht die mit der Düngung einbrachten Mengen an Stickstoff.

Tab. 11 : Trockenmassenerträge in dt/ha und Stickstoffentzüge in kg/ha nach Düngung mit N-Lignin (N-L) bzw. Kalkammonsalpeter (KAS).

1973

Testfläche 1

Sommerweizen

kg N/ha als	Korn dt/ha	N-Entzug kg/ha
80 N-L	22,8	47,3
160	21,7	52,4
80 KAS	21,3	49,2
80/40/40	19,9	59,8
GD _{5%}	4,11	10,51

1974

Testfläche 1

Zuckerrüben

kg N/ha als	Rüben dt/ha	Blatt dt/ha	N-Entzug kg/ha
120 N-L	104,9	49,4	131,5
200	99,7	44,3	130,6
60/60 KAS	100,9	61,8	197,4
100/100	107,8	61,8	197,4
	11,76	8,69	27,55

Sommerweizen

kg N/ha als	Korn dt/ha	N-Entzug kg/ha
80 N-L	27,0	52,5
160	34,6	78,8
80 KAS	33,5	72,8
80/40/40	33,7	97,7
	6,23	15,77

Testfläche 2

Zuckerrüben

kg N/ha als	Rüben dt/ha	Blatt dt/ha	N-Entzug kg/ha
120 N-L	69,1	35,5	102,7
200	86,7	42,8	129,1
60/60 KAS	119,8	66,5	203,5
100/100	80,6	61,0	174,4
GD _{5%}	10,13	8,53	27,21

Sommerweizen

kg N/ha als	Korn dt/ha	N-Entzug kg/ha
80 N-L	24,8	55,4
120	32,7	84,0
80 KAS	29,8	75,1
80/40/40	33,7	94,4
	5,85	16,15

Zuckerrüben

kg N/ha als	Rüben dt/ha	Blatt dt/ha	N-Entzug kg/ha
120 N-L	70,8	35,7	103,2
200	80,6	45,1	128,5
60/60 KAS	65,2	32,5	107,4
100/100	70,1	41,8	131,4
	8,16	6,43	21,00

Bei den Zuckerrüben auf Testfläche 2 wird der höchste Ertrag mit der niedrigsten Kalkammonsalpetergabe erzielt. Eine Steigerung der Kalkammonsalpeterdüngung führt zu einem gesicherten Minderertrag, während eine Steigerung der N-Lignindüngung noch eine gesicherte Ertragserhöhung bewirkt. Der Ertragsunterschied zu den anderen Versuchsjahren ist gering.

Im Blattertrag sind die Unterschiede durch Steigerung eines Düngemittels nicht gesichert, wohl aber die durch die Düngemittel bedingten Unterschiede. Der Blattertrag ist nach Düngung mit N-Lignin deutlich niedriger als nach Düngung mit Kalkammonsalpeter.

Die Stickstoffentzüge durch Zuckerrüben sind bedeutend höher als durch Sommerweizen und überschreiten die Höhe der Stickstoffgabe bei der geringsten Kalkammonsalpetergabe und erreichen sie fast bei der hohen Kalkammonsalpetergabe. Der Entzug nach Düngung mit N-Lignin ist statistisch gesichert niedriger.

Die Unterschiede in den Entzügen zwischen den beiden Früchten und die Auswirkung dieser Unterschiede auf den Gehalt an Nitratstickstoff in den Bodenlösungen ist in Abschnitt 5.2.1 angesprochen worden. Nicht erklärbar sind weiterhin die hohen Nitratgehalte in der Bodenlösung nach Düngung mit 60/60 kg N/ha als Kalkammonsalpeter zu Zuckerrüben, vor allem nach den hohen Erträgen und einem Entzug, der die Düngemengen deutlich überschreitet.

1974 werden auf Testfläche 1 die Erträge an Zuckerrüben und die Blatterträge nach Düngung mit N-Lignin wie die Sommerweizenenerträge im Vorjahr mit erhöhter Düngung mit N-Lignin vermindert. Diese Verminderung ist jedoch nicht statistisch gesichert. Demgegenüber bewirkt die Steigerung der Kalkammonsalpeterdüngung eine geringe, aber ebenfalls nicht gesicherte Ertragserhöhung. Der Unterschied in den Stickstoffentzügen zwischen den beiden Düngemitteln ist größer als im Jahre 1973 bei Sommerweizen, aber ähnlich groß wie bei den Zuckerrüben 1973 auf Testfläche 2. Er macht sich nicht im Rübenenertrag, jedoch im Blattertrag bemerkbar. Die Höhe der Stickstoffentzüge entspricht oder überschreitet mit Ausnahme bei der hohen N-Lignin-Gabe die zugegebene Stickstoffmenge.

Die Kornerträge 1974 an Sommerweizen sind deutlich höher und korrelieren mit den Stickstoffentzügen. Wird der Stickstoff im Stroh mit in Ansatz gebracht, so ist auch bei Sommerweizen, mit Ausnahme der hohen Kalkammonsalpetergabe,

der Stickstoffentzug der mit der Düngung verabfolgten Stickstoffmenge vergleichbar. Dieser Unterschied in den Stickstoffentzügen zum Jahre 1973 und die geringere Stickstoffausnutzung bei der hohen Kalkammonsalpetergabe zeigen sich auch in den Nitratgehalten in den Bodenlösungen (s. Abschnitt 5.2).

Auf beiden Testflächen wird 1975 erstmalig der höchste Ertrag sowohl bei Sommerweizenkorn als auch bei Zuckerrüben und Blatt mit der hohen N-Lignin gabe erzielt. Während eine Düngesteigerung mit N-Lignin noch eine gesicherte Ertragserhöhung bringt, ist das nicht bei einer Steigerung der Kalkammonsalpeterdüngung, mit Ausnahme beim Zuckerrübenblatt, der Fall. Der Stickstoffentzug nach Düngung mit N-Lignin ist jedoch trotz höherer Erträge niedriger.

Obwohl alle drei Versuchsjahre Trockenjahre mit ähnlicher Niederschlagsverteilung waren, sind die Erträge bei gleicher Düngung sehr unterschiedlich. Übereinstimmend dagegen werden bei allen Früchten bei vergleichbaren Erträgen deutlich geringere Stickstoffentzüge nach Düngung mit N-Lignin gefunden. In den Jahren 1973 und 1974 bewirkt die N-Lignindüngung eine deutliche Verminderung des Blattertrages bei Zuckerrüben.

5.4 Stickstoff-, Phosphor- und Kaliumgehalte des keramischen Materials einiger Saugkerzen nach Versuchsende

Nach Abschluß der Versuche wurde ein Teil der Saugkerzen aus verschiedenen Tiefen ausgebaut. Der oberflächlich anhaftende Boden wurde abgespült und nach dem Zerbrechen der Kerzen ein Teil sofort, und ein anderer Teil erst nach intensivem Durchspülen getrocknet. Die Kerzenbruchstücke wurden in einer Pistillmörsermühle (Retsch), deren Mahlkörper und Pistill aus Korund bestehen, zermahlen. Die Analysenergebnisse für das sofort getrocknete keramische Material sind in Tabelle 12 aufgeführt.

In allen gebrauchten Kerzen sind die Gehalte an Stickstoff, Phosphor und Kalium höher als in der ungebrauchten Kerze. Durch das intensive Durchspülen des keramischen Materials mit destilliertem Wasser wurde der Stickstoffgehalt auf den des ungebrauchten Materials vermindert, der Phosphorgehalt nicht beeinflusst und der Kaliumgehalt geringfügig gesenkt. Der erhöhte Stickstoffgehalt der gebrauchten Kerzen ist demnach auf wasserlösliche Anteile

Tab. 12: Stickstoff-, Phosphor- und Kaliumgehalte des sofort getrockneten keramischen Materials von Saugkerzen in ppm

Meßfläche	Tiefe	N	P ¹⁾	K ¹⁾
6	0,5 m	9,4	7,1	155
8	0,5 m	9,2	9,2	200
6	1,0 m	6,4	7,3	180
8	1,0 m	7,0	11,1	155
6	2,0 m	6,8	3,5	145
7	2,0 m	8,0	7,7	190
ungebrauchte Kerze		2,4	2,3	135

1) P und K wurden nach Aufschluß mit Salpetersäure bestimmt, N nach Kjeldahl mit Salicylschwefelsäure und Natriumthiosulfat zur Nitratreduktion

zurückzuführen. Auf Grund dieses Befundes muß mit einem gewissen "Memory"-Effekt durch die in dem porösen keramischen Material zurückgehaltenen Anteile an Bodenlösung gerechnet werden. Daß dieses Annahme richtig ist, zeigt die folgende Rechnung: Aufbau und Maße des keramischen Teils der Saugkerzen sind in Abschnitt 3.2 beschrieben. Aus diesen Maßen ergibt sich ein mittleres Volumen des keramischen Körpers von 220 cm³. Da in dem keramischen Material ungefähr 40 % Porenvolumen vorliegen, entspricht dieses einer Menge von ungefähr 90 ml Wasser. Das Gewicht des keramischen Körpers ist im Mittel 350 g. Hieraus errechnet sich für den löslichen Nitratanteil in der 0,5-m-Kerze bei 7 ppm in der Trockensubstanz eine Menge von ca. 2,5 mg in 90 ml oder ein Gehalt der Lösung in dem keramischen Material von ca. 30 ppm und in den 1- und 2-m-Kerzen bei im Mittel 4,6 ppm ein Gehalt von ca. 20 ppm. Diese Gehalte stimmen mit den kurz vor dem Ausgraben gemessenen Gehalten der Bodenlösungen überein.

Ob und wie weit eine Diffusion löslicher Stickstoffverbindungen, vor allem Nitrat, aus oder in dieses Lösungsvolumen in den keramischen Kerzen zwischen den Entnahmezeiten die Gehalte verändert, wurde nicht untersucht.

Der Gehalt an Phosphor in den gebrauchten Kerzen ist sehr unterschiedlich, aber in allen Fällen höher als in der ungebrauchten Kerze. Durch intensives Waschen des keramischen Materials kann der Gehalt nicht gesenkt werden, so daß mit einer Festlegung von Phosphat in dem keramischen Material gerechnet

werden kann. Um einen Anhaltspunkt über die Ursache für den unterschiedlichen Gehalt an Phosphor in den einzelnen Kerzen und der insgesamt durch die jeweilige Kerze geförderten Menge an Bodenlösung und der darin gemessenen Phosphorkonzentration zu erhalten, werden diese Werte in Tabelle 11 einander gegenübergestellt.

Tab. 13: Gegenüberstellung der Phosphorgehalte in gebrauchtem keramischem Material und dem durch die entsprechenden Kerzen entnommenen Volumen an Bodenlösung und den Gehalten, die in diesen Lösungen gemessen wurden

Meß- fläche	Tiefe in m	Differenz zu ungebraucht		entzogen wurden während der gesa- Versuchsdauer pro Kerze		
		in ppm P	in mg P/Kerze	ein Volumen	mit ppm P	damit wur- entzogen
6	0,5	4,8	1,7	3.645	0,185+0,110	0,67
8	0,5	6,9	2,4	9.225	0,250+0,102	2,31
6	1,0	5,0	1,8	8.085	0,120+0,047	0,97
8	1,0	8,8	3,1	8.080	0,125+0,073	1,01
6	2,0	1,2	0,4	10.435	0,120+0,047	1,25
7	2,0	5,4	1,9	3.995	0,206+0,052	0,82

Mit Ausnahme der Kerze aus Meßfläche 6 in 2 m Tiefe ist der Phosphorgehalt in dem keramischen Material immer höher und zum Teil erheblich höher als der gesamte in den Bodenlösungen bestimmte Phosphorgehalt. Die den einzelnen Spalten der Tabelle zuzuordnenden Korrelationskoeffizienten sind für die Differenz zwischen den Phosphorgehalten in den gebrauchten Kerzen und dem in der ungebrauchten Kerze in ppm zu

den entnommenen Litern pro Kerze = - 0,163

dem mittleren Phosphorgehalt in den Lösungen = 0,271

dem Entzug an Phosphor in mg/Kerze = 0,162.

Demnach besteht keinerlei Korrelation zwischen den Phosphorgehalten in dem keramischen Material der Kerzen und der durch sie entzogenen Lösungen. In unterschiedliche Bindung von Phosphor in den keramischen Kerzen muß demnach von den Eigenschaften des jeweils für die Herstellung der Kerzen verwendeten Materials abhängen.

Ein weiteres Problem, das bei der Darstellung der Phosphorgehalte in den Bodenlösungen nicht behandelt wurde, dürfte zu den unterschiedlichen Phosphorgehalten in dem keramischen Material beitragen: Vor allem gegen Ende des Versuches zeigten sich stärkere Unterschiede in den Phosphorgehalten der entzogenen Bodenlösungen, die bei unterschiedlichen Entnahmetermen in den verschiedenen Tiefen auftraten und nur bei jeweils einer Entnahme einen deutlich höheren Phosphorgehalt aufwiesen. Es scheint demnach zeitweise zu einer Art "Entladung" des in dem keramischen Material gebundenen Phosphors kommen zu können.

Auf Grund dieser Befunde muß angenommen werden, daß die Bestimmung von Phosphor in Bodenlösungen, die mit keramischen Kerzen entzogen wurden, nicht die exakten Gehalte in der Bodenlösung wiedergeben. Die erhaltenen Daten können höchstens als Anhaltswerte verwendet werden. Diese Aussage wird vor allem dadurch unterstrichen, daß in dem keramischen Material eine größere Menge an Phosphor festgelegt wird, als in den insgesamt entzogenen Lösungen ermittelt werden konnte.

Die zuletzt entzogenen Bodenlösungen enthalten ca. 30, 20 bzw. 5 ppm Kalium in 0,5, 1,0 bzw. 2,0 m Tiefe. Diese Mengen entsprechen ca. 2,7, 1,8 und 0,5 mg Kalium in den 90 ml, die im keramischen Material der Kerze zurückgehalten werden können. Dieser Anteil kann annähernd auch durch intensives Auswaschen entfernt werden. Der Unterschied der Gehalte an Kalium im keramischen Material der gebrauchten und der ungebrauchten Kerzen beträgt für die einzelnen Tiefen im Mittel 15, 12 bzw. 12 mg. Diese Differenzgehalte der Kerzen aus verschiedenen Tiefen unterscheiden sich demnach weniger als die Kaliumgehalte der aus verschiedenen Tiefen entzogenen Bodenlösungen und sind erheblich höher als diese.

Das keramische Material hat eine Kationenumtauschkapazität von 2,05 mval/100 g bzw. von 7,2 mval/Kerze. Würde der gesamte Umtauschkomplex mit Kalium abgesättigt, könnten ca. 280 mg Kalium sorbiert werden. Da aber nur rund 13 mg Kalium als sorbiert gefunden wurden, sind von der Gesamtumtauschkapazität nur ca. 5 % für die Sorption von Kalium wirksam geworden.

Auf eine Festlegung und Wiederfreisetzung von Phosphor und Kalium weist auch EL-BASSAM (1972) in seinen Untersuchungen über den Aussagewert der chemischen Zusammensetzung einer mit keramischen Kerzen gewonnenen Bodenlösung hin.

Beim Ausgraben der Kerzen wurde ein größeres Bodenvolumen der Beobachtung zugänglich als bei den Bohrungen zum Einbau der Saugkerzen, als der umliegende Boden so weit wie möglich ungestört belassen werden mußte. Aus den Untersuchungen der Bohrkerne (s. Abschnitt 2.2.2) konnte auf eine relativ hohe Gleichmäßigkeit des Versuchsfeldbodens geschlossen werden. Die aufgegebenen Profilausschnitte zeigen aber, daß der Boden von Kies- und Tonbändern unterschiedlicher Mächtigkeit und Neigung durchzogen ist und daß stellenweise linsenförmige Ton- oder Schlufflagen unterschiedlichen Durchmessers und Dicke auftreten. Unterschiede in der Förderleistung verschiedener Kerzen und in der Zusammensetzung der entzogenen Bodenlösungen müssen z. T. auf diese Bodenunterschiede zurückgeführt werden.

5.5 Kohlenstoff- und Stickstoffgehalte des Bodens der Meßflächen nach Versuchsabschluß 1975

Aus den 8 Meßflächen des Versuches zur Entnahme von Bodenlösungen wurden im März 1975 aus der Krume (0 - 20 cm) Bodenproben entnommen. In den gefriergetrockneten und quantitativ auf 0,2 mm gemahlten Böden erfolgte die Bestimmung des Gesamtgehaltes an Kohlenstoff und Stickstoff (Tabelle 14).

Tab. 14: Kohlenstoff- und Stickstoffgehalte der Meßflächen nach Versuchsabschluß

Behandlung	C %	N %	C/N
<u>Testfläche 1</u>			
niedrige Gabe N - L	0,58	0,054	10,7
hohe Gabe N - L	0,63	0,060	10,5
niedrige Gabe KAS	0,48	0,044	10,9
hohe Gabe KAS	0,58	0,054	10,7
<u>Testfläche 2</u>			
niedrige Gabe N - L	0,66	0,062	10,6
hohe Gabe N - L	0,71	0,068	10,4
niedrige Gabe KAS	0,59	0,054	10,9
hohe Gabe KAS	0,65	0,060	10,8
GD ₅ %	0,064	0,0020	

In den bei der Probennahme abgeschlossenen 4 Feldversuchsjahren waren beide Testflächen jeweils zweimal mit Zuckerrüben und Sommerweizen bestellt worden und hatten damit insgesamt die gleichen Mengen an Stickstoff und bei der Düngung mit N-Lignin auch an Kohlenstoff erhalten. Dennoch unterscheiden sich beide Testflächen in den Gehalten an Stickstoff und Kohlenstoff. Dieser Unterschied kann nicht durch die Düngung entstanden sein, sondern muß auf solche zu Versuchsbeginn zurückgeführt werden. Ein ähnlicher Unterschied besteht auch zu den Gehalten des Bodens einer nicht gedüngten Randparzelle.

Die innerhalb der beiden Testflächen unterschiedlich gedüngten Meßflächen unterscheiden sich aber dennoch deutlich in den Kohlenstoff- und Stickstoff-Gehalten in Abhängigkeit von der Düngung, und diese Unterschiede sind zum Teil statistisch gesichert. Sowohl die Kohlenstoff - als auch die Stickstoffgehalte der beiden mit N-Lignin gedüngten Meßflächen sind eindeutig höher als in den entsprechenden mit Kalkammonsalpeter gedüngten. Es ist eine stärkere Anreicherung der Versuchsböden mit Stickstoff nach der Düngung mit N-Lignin erfolgt, was sich auch in den etwas niedrigeren C/N-Werten nach Düngung mit N-Lignin andeutet.

Versucht man, diese Unterschiede mit den Düngermenge zu korrelieren, so ergeben sich folgende Beziehungen. Auf allen Testflächen werden sowohl an N-Lignin als auch an Kalkammonsalpeter bei der niedrigen Gabe insgesamt 400 kg/ha N und bei der hohen Gabe 800 kg/ha N gegeben. Aus Gefäßversuchen, die am Institut für Biochemie des Bodens durchgeführt wurden, ergab sich eine Stickstoffausnutzung bei N-Lignin im Vergleich zu Kalkammonsalpeter von 65 %. Werden 35 % der Stickstoffgabe in Form von N-Lignin als nicht verfügbar angenommen, ergeben sich für die beiden Düngegaben 140 bzw. 280 kg/ha N. Das bedeutet, 47 bzw. 93 μg N/g Boden oder in Annäherung 0,005 bzw. 0,009 %. Diese Werte stimmen ungefähr mit den Unterschieden zwischen der niedrigen und der hohen N-Ligningabe überein.

Eine dementsprechende Kalkulation des Kohlenstoffgehaltes ergibt bei einer Düngung von 400 bzw. 800 kg/ha N als N-Lignin eine Kohlenstoffmenge von ca. 860 bzw. 1720 kg/ha. Wenn von diesen Kohlenstoffverbindungen nichts abgebaut wird, würde das 290 bzw. 580 μg C/g Boden bzw. 0,03 oder 0,06 % C bedeuten. Die Differenz zwischen den nach niedriger und hoher N-Lignindüngung gefundenen Werten von 0,05 % entspricht ungefähr der berechneten

Differenz von 0,03 %. Das Kohlenstoffgerüst des N-Lignins scheint demnach nur zu einem sehr geringen Teil abgebaut zu werden. Es darf hierbei jedoch nicht vergessen werden, daß sich auch durch eine Steigerung der Kalkammonsalpeterdüngung eine Zunahme im Kohlenstoff- und Stickstoffgehalt zeigt, die wahrscheinlich auf einen höheren Anteil an Vegetationsrückständen in der mit der hohen Gabe gedüngten Parzellen zurückzuführen ist.

6. Diskussion

Im norddeutschen Raum werden von den Durchschnittsniederschlägen von 650 nach BAUMGARTEN (zit. in BRAMM, 1979) etwa 70 % durch Evapotranspiration an die Atmosphäre zurückgegeben, etwa 10 % fließen in die oberirdischen Gewässer ab und etwa 20 % gelangen in das Grundwasser. Die beiden zuletzt genannten Anteile der Niederschläge sind für die Verlagerung und Auswaschung von Nährstoffen verantwortlich. Wenn wie im vorliegenden Falle ein Abfluß in oberirdische Gewässer nicht möglich ist, werden also 30 % der Niederschläge zum Abtransport in das Grundwasser beitragen. Ein Drittel dieser Sickerwassermenge fällt im Sommerhalbjahr, zwei Drittel im Winterhalbjahr an. Im Untersuchungszeitraum von 1973 - 1975 herrschten aber in keinem Jahr Durchschnittsbedingungen, sondern, wie aus der klimatischen Wasserbilanz hervorgeht, eine ausgeprägte Trockenheit, vor allem in den Sommermonaten. Mit Hilfe der Messung der Bodenfeuchte mit einer Neutronensonde konnten gegenüber Durchschnittsjahren aufgetretenen Unterschiede in der Durchfeuchtung des Bodens erfaßt und die Sickerwassermenge berechnet werden. Eine deutliche Sickerwasserbewegung und damit die Möglichkeit einer Verlagerung von Nährstoffen trat wie in anderen Versuchen auf einem ähnlichen Standort (BRAMM, 1979) nur in den Winterhalbjahren auf. Auch bei Abfluß in oberirdische Gewässer erreichen die Konzentrationen an Nitrat und an Kalium zu Beginn des Winterhochwassers die höchsten Werte (BOYSEN, 1977).

Durch die im Sommer nach unten hin zunehmende Austrocknung des Bodens konnte auch eine Aufwärtsbewegung von Nährstoffen mit dem Wasserstrom eintreten. Mit der angewendeten Methodik aber konnte ein derartiger Flux nicht gemessen werden, da eine Entnahme von Bodenlösungen zu den hierfür benötigten Temperaturen nicht mehr vorgenommen werden konnten. Andererseits scheint es aber sehr fraglich, ob eine derartige Bewegung insbesondere von Stickstoff von

folgt werden kann. Die Untersuchungen von DIEZ und SOMMER (1979) zeigen, daß der Boden zur Zeit des Ährenschiebens fast vollständig frei von Nitrat ist bis zu einer Tiefe von 90 cm, während der Weizen nach diesem Termin noch ungefähr die Hälfte seines Stickstoffbedarfes decken muß. Dieser Bedarf kann nur durch die aus der organischen Bodensubstanz mineralisierte Menge an Stickstoff gedeckt werden. Diese Mineralisierung dürfte jedoch für die Tiefe von 50 cm, in die die obere Kerze eingebaut wurde, nicht von Bedeutung sein. Noch weniger dürfte das für die Kerzen, die in noch größerer Tiefe eingesetzt worden waren, der Fall sein.

Die Verlagerung von Stickstoff mit dem Sickerwasser erfolgt fast ausschließlich in Form von Nitrat. Eine Verlagerung in Form von Ammonium, wie sie nach Hemmung der Nitrifizierung durch das N-Lignin und bei der geringen Sorptionskapazität des Versuchsfeldbodens angenommen worden war, konnte nicht beobachtet werden. Das zeitweilig aufgetretene Nitrit kann in diesem Zusammenhang nur als eine Sonderform des Stickstoffs betrachtet werden. Der Vergleich der Stickstoffauswaschung aus beiden Düngemitteln zeigt, daß die Verlagerung und Auswaschung von Stickstoff aus dem N-Lignin deutlich geringer ist als die aus Kalkammonsalpeter. Bei vergleichbaren Düngermengen ist sie ungefähr immer nur halb so hoch bei N-Lignin, und dieser Vergleich trifft auf alle Meßtiefen von 50, 100 und 200 cm zu. Bei diesem Vergleich darf aber nicht übersehen werden, daß die Pflanzen nach Düngung mit N-Lignin deutlich weniger Stickstoff aufnehmen als nach Düngung mit Kalkammonsalpeter. Jedoch ist dieser zuletztgenannte Unterschied nicht so ausgeprägt wie der bei der Auswaschung. Die Differenz zwischen Auswaschung und Aufnahme durch die Pflanze wird annähernd durch den Stickstoffanteil gedeckt, der nach Düngung mit N-Lignin in größerem Maße in der Krume in organischer Bindung zurückgehalten wird, wie aus den Bodenanalysen nach Versuchsabschluß hervorgeht. Ob hierzu noch ein Einfluß unterschiedlich hoher gasförmiger Verluste, wie sie von VÖMEL und DÜLL (1979) bei kombinierter organisch-mineralischer Düngung gefunden wurden, hinzukommt, kann aus diesen Versuchen nicht entschieden werden.

Bei der modernen Stickstoffbedarfsanalyse wird zu Jahresanfang aus einer Bodentiefe von 0 - 90 cm der Nitratstickstoffgehalt bestimmt. Wird entsprechend der Gehalt an Bodenlösungen in den ersten Monaten des Jahres betrachtet, so ergibt sich, daß bei annähernd gleicher Bodenfeuchte ein zum Teil deutlich unterschiedlicher Gehalt an Nitratstickstoff in den Bodenlösungen vorliegt. Wie zuvor erwähnt, ist dies vor allem nach Düngung mit Kalkammon-

salpeter der Fall. Wird der unterschiedliche N-Entzug durch die Pflanzen mit diesen unterschiedlichen Gehalten in den Monaten vor der Stickstoffdüngung verglichen, so sind diese Daten nicht miteinander korrelierbar. Diese Beziehung wird möglicherweise dadurch gestört, daß aus dem N-Lignin der Stickstoff in unterschiedlicher Geschwindigkeit freigesetzt wird. Wahrscheinlich wird auch damit zu rechnen sein, daß eine starke Mineralisierung des Bodenstickstoffs vor allem nach Befeuchtung im Anschluß an eine lange Trockenperiode eintritt.

In Übereinstimmung mit den in der Literatur veröffentlichten Ergebnissen (PFAFF, 1963 b; AMBERGER, 1972; TIMMERMANN et al., 1975; OHLENDORF, 1976; BOYSEN, 1977) über eine geringe Auswaschung von Phosphat, wobei weder die Düngung noch die Witterung einen Einfluß hatten, sondern nur auf leichten Böden eine geringfügig höhere Verlagerung auftrat, hatte die Düngung mit den beiden Düngemitteln N-Lignin und Kalkammonsalpeter keinen Unterschied in der Phosphatkonzentration der entzogenen Bodenlösungen ergeben. Dieser Schluß ist aber aus den eigenen Versuchen nur begrenzt zu ziehen, denn die Nachuntersuchung der keramischen Kerzen erbrachte wie bei EL-BASSAM (1979) eine Anreicherung von Phosphat in dem keramischen Material. Es muß also auch hier festgestellt werden, daß die Verlagerung von Phosphat mit der Bodenlösung nicht mit keramischen Kerzen überprüft werden kann.

Calcium wurde von allen untersuchten Nährstoffen in der größten Menge verlagert und ausgewaschen. Ein deutlicher Einfluß der Düngemittel zeigt sich dahingehend, daß trotz der höheren Calciumzufuhr mit dem Kalkammonsalpeter die Auswaschung nach Düngung mit N-Lignin deutlich größer war. Dies dürfte darauf zurückzuführen sein, daß für die Verlagerung von Calcium vor allem die Bicarbonate und die Sulfate des Calciums verantwortlich sind, da diese beiden Formen erheblich leichter löslich sind als das Carbonat. LOHSSE (1979) konnte auch die Parallelität der Auswaschung von Calcium und Sulfat nachweisen. Die stärkere Calciumauswaschung nach Düngung mit N-Lignin dürfte danach an den höheren Gehalt an Sulfat im N-Lignin zurückzuführen sein, denn dieses enthält aus der Oxydation des Calciumbisulfits aus den zur Herstellung verwendeten Abfällen der Zellstoffindustrie größere Mengen an Sulfat. Ein großer Teil der Ammoniumionen im N-Lignin liegt als Ammoniumsulfat vor. Neben dem Einfluß der Düngung ist auch der Einfluß der Bepflanzung auf die Calciumauswaschung nicht zu vernachlässigen. So ist im Herbst 1974 die Calciumauswaschung unter Zuckerrüben nur halb so hoch wie unter Sommerweizen.

Auf einen ähnlichen Einfluß des Entzuges der Pflanzen hat LOHSSE beim Vergleich von Brache und Bewuchs hingewiesen (1977).

Eine hohe Auswaschung von Calcium, vor allem in Vergleich zu der anderer Nährstoffe, wurde auch in den Arbeiten von PFAFF (1963 c), AMBERGER (1972) und OHLENDORF (1976) beschrieben.

Die Konzentration an Magnesium in den Bodenlösungen und die über 2 m hinaus ausgewaschene Menge ist wesentlich niedriger als die an Calcium, obwohl die Magnesiumgehalte im Boden des Versuchsfeldes in einigen Tiefen sogar deutlich höher sind als die Calciumgehalte. Dieser Befund der geringeren Verlagerbarkeit von Magnesium deckt sich zwar mit allen bisher in der Literatur veröffentlichten Daten (VÖMEL, 1970; LOHSSE, 1977) ist aber dennoch nicht ohne weiteres verständlich, da die entsprechenden Salze des Magnesiums um etwa zwei Zehnerpotenzen löslicher sind als die des Calciums. Diese Unterschiede müssen demnach auf der unterschiedlichen Löslichkeit der primär im Boden vorhandenen Magnesium- und Calciumsalze beruhen. Der unterschiedliche Pflanzenbestand beeinflusst die Verlagerung des Magnesiums in gleicher Richtung wie die des Calciums.

LOHSSE (1977) beobachtete in vergleichbaren Trockenjahren, daß, wenn auch die Carbonate des Magnesiums löslicher sind als die des Calciums, das Calcium-Magnesium-Verhältnis enger wird bei niedrigen Wassergehalten. Auch in der vorliegenden Untersuchung wurde beobachtet, daß bei Anstieg der Bodenfeuchte das Calcium-Magnesium-Verhältnis weiter wird, jedoch ist hier eine stärkere Zunahme an Calcium in der Bodenlösung allein für diesen Unterschied verantwortlich, denn der Gehalt an Magnesium bleibt annähernd konstant.

In Übereinstimmung mit den bisher bekannten Ergebnissen (PFAFF, 1963 c; BOBRITZKAYA, 1969; AMBERGER, 1969; WEISE, 1971, TIMMERMAN et al., 1975; LOHSSE, 1977) wird Kalium nur in vernachlässigbar geringen Mengen im Boden verlagert. Nach den eigenen Untersuchungen scheint eine geringere Wanderung von Kalium bis zu einer Tiefe von 50 cm auf dem leichten Boden einzutreten, da die Kaliumgehalte in den aus dieser Tiefe entzogenen Bodenlösungen höher ist als die in den aus 1 m und vor allem aus 2 m Tiefe entzogenen. Es ist kein Einfluß der beiden untersuchten Düngerformen festzustellen. Festlegung und Wiederfreisetzung von Kalium durch und aus dem keramischen Material der Kerzen ist zwar meßbar, da es jedoch nur ca. 5 % der Gesamtaustauschkapazität des keramischen Materials ausmacht, zu vernachlässigen.

Während die Leitfähigkeit vor allem auf Änderungen in der Konzentration an Nitratstickstoff reagiert, spricht der pH-Wert auch auf Änderungen im Gehalt an Calcium in den Bodenlösungen an. Beide Verfahren aber geben höchstens Richtwerte und ersetzen keinesfalls eine analytische Bestimmung der genannten einzelnen Nährstoffe.

7. Zusammenfassung

Die Verlagerung bzw. Auswaschung von Nährstoffen, vor allem von Stickstoff wurde nach Düngung mit einem organischen Stickstoffdünger aus Abfällen der Zellstoffindustrie (N-Lignin) im Vergleich zu einer Düngung mit Kalkammonsalpeter unter natürlichen Niederschlagsbedingungen untersucht. Um die natürlichen Bodenverhältnisse so wenig wie möglich zu stören, wurden in einem Feldversuch auf lehmigem Sand keramische Saugkerzen nach CZERATZKI in 50, 100 und 200 cm Tiefe eingebaut. Der Entzug der Bodenlösungen erfolgte mit einem Unterdruck von 0,5 Atm.

1. Die Wassergehalte und Sickerwasserbewegungen im Boden zeigten in Abhängigkeit von der klimatischen Wasserbilanz und gemessen mit einer Neutronenprobe in allen 3 Versuchsjahren, daß eine Verlagerung bzw. Auswaschung von Nährstoffen nur im Spätherbst und Winter eintreten konnte. 1973 erreichte die Sickerwasserbewegung nicht die Tiefe von 2 m. 1974 trat eine geringe Auswaschung über diese Tiefe hinaus ein. 1975/76 konnte eine Auswaschung durch die hohen Niederschläge im Januar 1976 durch den weitgehenden Ausfall der Anlage ab März 1976 nicht mehr eindeutig erfaßt werden.
2. Eine Verlagerung von Stickstoff fand nur in Form von Nitrat statt und war in den untersuchten Trockenjahren sehr niedrig (1974/75 0 - 12,5 kg N/ha). Sie war nach Düngung mit N-Lignin deutlich niedriger als nach entsprechender Düngung mit Kalkammonsalpeter. Ein Einfluß des die Nitrifizierung hemmenden N-Lignins auf eine Verlagerung von Ammonium konnte auf Grund fehlender Sickerwasserbewegungen in der Hemmungsphase nicht beobachtet werden. Im Übergang 1974/75 traten unregelmäßig höhere Konzentrationen an Nitritstickstoff auf. Eine Klärung dieses Phänomens durch Testversuche war nicht möglich.
3. Eine Verlagerung von Phosphat - auch in Gegenwart von N-Lignin, das die Phosphatverfügbarkeit erhöht, - konnte nicht beobachtet werden. Die Analyse von benutzten Saugkerzen ergab eine starke Anreicherung von Phosphat, was den Einsatz dieser Methode für die Untersuchung einer Phosphatverlagerung in Frage stellt.

4. Calcium wurde in erheblich größerer Menge als alle anderen Nährstoffe ausgewaschen (1974/75 40 - 80 kg Ca/ha). Die Düngung mit N-Lignin führte zu einer stärkeren Verlagerung und Auswaschung von Calcium als die entsprechende Düngung mit Kalkammonsalpeter und dürfte auf die verstärkte Zufuhr an Sulfat mit dem N-Lignin zurückzuführen sein.
5. Die Verlagerung bzw. Auswaschung von Magnesium war deutlich niedriger als die von Calcium und unabhängig von Düngemittel und Düngungshöhe (1974/75 3 - 8 kg Mg/ha).
6. Kalium wurde nur wenig verlagert. Eine Konzentrationsverschiebung in Abhängigkeit von der Sickerwasserbewegung wurde nur in 50 cm Tiefe eindeutig beobachtet. Sie war unabhängig von Düngemittel und Düngungshöhe.
7. Der pH-Wert der Bodenlösung war abhängig vom Nitrat- bzw. Calcium- und Magnesiumgehalt. Die Leitfähigkeitsmessung gibt Anhaltswerte für die Nährstoffkonzentration in Bodenlösungen.
8. Die N-Lignindüngung führte bei deutlich verminderten Stickstoffentzügen nur bei Zuckerrübenblatt zu einer eindeutigen Ertragsminderung. Die geringeren Stickstoffentzüge stimmen mit dem Anstieg der Gesamtstickstoffgehalte nach Versuchsende in dem mit N-Lignin gedüngten Boden überein.
9. Die erhaltenen Ergebnisse zeigen, daß die Verlagerung bzw. Auswaschung an Nitratstickstoff durch die Auswahl eines geeigneten Düngemittels besser unter Kontrolle gebracht werden kann.

8. Literatur

- AMBERGER, A. (1969)
Möglichkeiten und Probleme der modernen Düngungsweise der Landwirtschaft und ihre Auswirkungen auf Wasser- und Abwasserwirtschaft.
Mü. Beitr. 16, 24 - 37.
- AMBERGER, A. (1972)
Belastung und Entlastung der Oberflächengewässer durch die Landwirtschaft.
Landw. Forsch. Sonderheft 27/I, 13 - 24.
- BAVEL, C. H. M. van und N. UNDERWOOD (1955)
Neutron and Gamma-Radiation as applied to measuring physical properties of soil in its natural state.
Int. UN Conf. on the Peac. Uses of Atomic Energy, A/Conf. 8/P/102 (AST).
- BOBRITZKAYA, M. A. (1969)
Mögliche Verluste von N, P und K mit durchsickernden Wässern in Böden.
Geoderma 3, 63 - 68.
- BOYSEN, P. (1977)
Nährstoffauswaschung aus gedüngten und ungedüngten Böden in Abhängigkeit von Standorteigenschaften und Nutzung der Moränen- und Sandergebiete Schleswig-Holsteins.
Diss. Kiel 1977.
- BRAMM, A. (1979)
Einfluß pflanzenbaulicher Produktsysteme auf die Stickstoffverlagerung im Boden.
Landbauforsch. Völkenrode Sonderheft 47, 63 - 77.
- BREMNER, J. M. (1965)
Inorganic forms of nitrogen.
In: Methods of soil analysis, Part 2, S. 1199 - 1277,
Amer. Soc. Agron., Inc. Publ. 1965, Madison, Wisc.
- BUCHNER, A. und H. STURM (1973)
Theoretische N-Bilanz bei ausgewählten Kulturen, Fruchtfolgen und Gebieten.
Landw. Forsch. Sonderheft 30/II, 78 - 92.
- BUCKMANN, H. O. und N. C. BRADY (1960)
The nature and properties of soils.
6. Ed. The MacMillan Co., New York 1960.
- CZERATZKI, W. (1971)
Saugvorrichtung für kapillargebundenes Bodenwasser.
Landbauforsch. Völkenrode 21, 13 - 14.

- CZERATZKI, W. (1973)
Die Stickstoffauswaschung in der landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion.
Landbauforsch. Völkenrode 23, 1 - 18.
- CZERATZKI, W. (1976)
Sickerwassermenge sowie Verlauf von Nährstoffkonzentrationen und Auswaschung in einem Beregnungsversuch.
Mitt. Dt. Bodenkdl. Ges. 23, 95 - 105.
- DAMBROTH, M. (1973)
N-Lignin - Ein organischer Dünger. Günstige Versuchsergebnisse zu Sommergerste.
DLP Nr. 8, S. 5.
- DIETZ, Th. und G. SOMMER (1979)
Veränderungen des Gehaltes an löslichem Bodenstickstoff (N_{min}) im Jahresablauf.
Bayer. Landw. Jahrb. 56, 351 - 363.
- EL-BASSAM, N. (1972)
Aussagewert der chemischen Zusammensetzung einer durch Saugvorrichtung gewonnenen Bodenlösung.
Landbauforsch. Völkenrode 22, 37 - 40.
- ERICKSON, A. E. und B. G. ELLIS (1971)
The nutrient content of drainage water from agricultural land.
Michigan Agr. Exp. Sta. Res. Bull. 31.
- FEGER, U. (1975)
Einfluß von Düngungsmaßnahmen auf die Auswaschung von N, P und K unter Berücksichtigung der Sickerwasserbewegung auf Brache und landwirtschaftlich genutzter Flächen.
Diss. Göttingen 1975.
- FLAIG, W. und H. SÜCHTIG (1967)
Organische Verbindungen als Stickstoffquelle für die Ernährung der Pflanzen.
Anales de Edafologia y Agrobiologia 26, 801 - 828.
- FLAIG, W. (1972)
Verwertung eines Abfallproduktes der Zellstoffindustrie als Düngemittel - ein Beitrag zur umweltfreundlichen Technik.
Landbauforsch. Völkenrode Sonderheft 14, 86 - 93.
- FLAIG, W. und H. SÜCHTIG (1974)
Ein Beitrag zur umweltfreundlichen Technik durch Verwertung der Sulfitablaugen der Zellstoffindustrie als organischer Stickstoffdünger.
Neth. J. agric. Sci. 22, 255 - 261.
- FLAIG, W., H. SÜCHTIG und C. SOMMER (1976)
Observations about the effect of oxidatively ammonified lignosulfates on physical soil properties.
Med. Fac. Landbouww. Rijksuniv. Gent 4 1/1 S. 41 - 47.

- GLIEMEROTH, G. (1958)
Stickstoffverlagerung über Winter in Abhängigkeit von der Wasserführung eines Lößlehmbodens.
Z. Acker- und Pflanzenb. 107, 129 - 146.
- HAUDE, E. (1954)
Zur praktischen Bestimmung der aktuellen und potentiellen Evaporation und Evapotranspiration.
Mitt. Dt. Wetterdienst 8, 491 - 595.
- JUNG, J. und J. DRESSEL (1969)
Das Verhalten von Kalium in zwei unterschiedlichen Böden eines 10jährigen Lysimeterversuches in Abhängigkeit von Düngungstermin.
Z. Acker- und Pflanzenbau 130, 33 - 44.
- JUNG, J. und J. DRESSEL (1972)
Lysimeteruntersuchungen zur Stickstoffauswaschung für Strohdüngung und Anwendung verschiedener N-Formen.
Z. Acker- und Pflanzenbau 136, 280 - 289.
- KLETT, M. und H. KOEPF (1965)
Der Einfluß von Boden und Bodennutzung auf den Nitratstickstoffgehalt von Ursprungsgewässern.
Z. Pflanzenern., Düngg. u. Bodenkunde 111, 158 - 197.
- KOLENBRANDER, G. J. (1969)
Nitrate content and nitrogen loss in drainwater.
Neth. J. agric. Sci. 17, 246 - 255.
- LINSER, H. und KAINDL, K. (1960)
Isotope in der Landwirtschaft.
Parey-Verlag, Hamburg - Berlin, 1960, S. 232.
- LOHSSE, H. (1977)
Verlagerung von Stickstoff, Alkali- und Erdalkalitionen sowie von Chlorid und Sulfat in einer Parabraunerde auf Löß.
Diss. Bonn 1977.
- LOW, A. J. und E. E. ARMITAGE (1970)
The composition of the leachate through cropped and uncropped soil in lysimeters compared with that of the rain.
Plant and Soil 33, 393 - 411.
- OHLENDORF, W. (1976)
Lysimeteruntersuchungen über den Verbleib der Düngernährstoffe, insbesondere des mit N-15 markierten Stickstoffs.
Diss. Gießen 1976.
- OVERREIN, L. N. (1969)
Lysimeter studies on N-15 in soil: 2. Comparative losses of nitrogen through leaching and volatilization after addition of urea-, ammonium- and nitrate N-15.
Soil Sci. 107, 149 - 159.

- OWENS, L. D. (1960)
Nitrogen movement and transformation in soil as evaluated by a lysimeter study utilising isotopic nitrogen.
Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 24, 372 - 376.
- PFAFF, C. (1963 a)
Das Verhalten des Stickstoffs im Boden nach langjährigen Lysimeterversuchen.
Z. Acker- u. Pflanzenbau 177, 77 - 99.
- PFAFF, C. (1963 b)
Das Verhalten der Phosphorsäure und der Alkalien im Boden nach langjährigen Lysimeterversuchen.
Z. Acker- und Pflanzenbau 117, 100 - 113.
- PFAFF, C. (1963 c)
Über die Auswaschung von Ca, Mg, Cl und SO_4 aus dem Boden (Lysimeterversuche).
Z. Acker- u. Pflanzenbau 117, 117 - 128.
- PFAFF, G. (1964)
Die Nährstoffbilanz im Wechselspiel von Pflanzenaufnahme, Bodenadsorption und Auswaschung.
BASF: Die landwirtschaftliche Versuchsstation Limburgerhof 1914 - 1964.
- RIEHM, H. und B. ULRICH (1954)
Quantitative kolorimetrische Bestimmung der organischen Substanz im Boden.
Landw. Forsch. 6, 173 - 176.
- SCHREVEN, D. A. van (1970)
Leaching losses of nitrogen and potassium in Polders reclaimed from Lake IJssel.
Plant and Soil 33, 629 - 643.
- SÜCHTIG, H. (1970)
Über den Einfluß von N-Lignin auf die Nitrifizierung im Boden sowie den Ertrag und den Nitratgehalt der Pflanzen.
Qual. Plant. Mater. Veg. 20, 137 - 150.
- SÜCHTIG, H. und W. FLAIG (1973)
Herstellung und Wirkung eines organischen Stickstoffdüngers aus den Sulfitablaugen der Zellstoffindustrie.
Landw. Forsch. Sonderheft 30/II, 17 - 24.
- STONE, F. J., D. KIRKHAM und A. A. REED (1955)
Soil moisture determination by a portable neutron scattering moisture meter.
Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 19, 419 - 423.
- TIMMERMANN, F., U. FEGER und E. WELTE
Sickerwasserberechnung und Nährstoffgehaltsmessungen in der abgesaugten Bodenlösung zur Bestimmung der Nährstoffauswaschung auf einem Lößlehmstandort.
Mitt. Dtsch. Bodenkundl. Ges. 22, 251 - 270 (1975).

- VÖMEL, A. (1965)
Der Versuch einer Nährstoffbilanz am Beispiel verschiedener Lysimeterböden.
Z. Acker- u. Pflanzenb. 123, 155 - 170.
- VÖMEL, A. (1970)
Nährstoffauswaschung in den Unterböden und Düngungsstickstoffumsatz, dargestellt an Kleinlysimeterversuchen.
Z. Acker- u. Pflanzenb. 132, 207 - 226.
- VÖMEL, A. und G. DÜLL (1979)
Der Verbleib des Düngerstickstoffs bei kombinierter mineralisch-organischer Düngung.
Landw. Forsch. 32, 237 - 249.
- WEISE, K. (1971)
N-, K-, Ca- und Mg-Auswaschungsverluste aus sandigen Ackerböden in den Jahren 1966 - 1969.
Archiv f. Acker-, Pflanzenbau und Bodenkunde 15, 97 - 106.
- WISTINGHAUSEN, E. v. (1971)
Die Verlagerung von Nitrat und anderen Ionen in Böden und die Wirkung der Bewirtschaftung auf diesen Vorgang.
Diss. Hohenheim 1971.

8. Anhang

Tabellen und Abbildungen

Tab. 15: Ergebnisse der Trockengewichtsbestimmungen und der Neutronensondennmessungen in den Meßflächen 1 bis 4 am 11.07.1974 und in den Meßflächen 5 bis 8 am 04.02.1975

Meßfläche	Gewichts% Wasser bestimmt durch Trocknung bei 105 °C				Meßwerte der Neutronensonde zur Feuchtemessung (Nuclear Chicago)			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Tiefe in cm								
0 - 30	8,5	7,9	7,6	8,5	-	-	-	-
30 - 60	10,4	9,1	6,3	7,6	7355	7661	6070	5971
60 - 90	8,3	8,4	8,4	10,7	6178	7017	8112	9919
90 - 120	8,4	5,9	6,0	6,9	7886	5812	6001	6978
120 - 150	7,2	5,0	5,2	5,3	6401	4820	5715	5069
150 - 180	5,8	6,3	6,3	5,5	5026	6365	5315	5213
180 - 200	7,7	7,2	5,7	6,4	8160	6458	5846	6158
200 - 220	5,8	7,0	9,1	7,8	5690	6781	7070	6254
Meßfläche	5	6	7	8	5	6	7	8
Tiefe in cm								
0 - 15	15,4	15,4	14,9	14,8	-	-	-	-
15 - 30	15,1	12,1	12,6	15,0	11197	10958	11134	10420
30 - 45	13,1	12,6	14,3	13,2	9160	9043	9541	8639
45 - 60	11,7	11,1	10,7	12,1	8411	9116	8995	8574
60 - 75	12,5	9,6	11,1	10,6	8508	8578	9669	9181
75 - 90	13,6	8,6	10,7	10,5	10780	8508	10106	9458
90 - 105	11,4	11,6	11,6	10,5	10133	7601	10496	8743
105 - 120	7,0	10,1	12,0	8,2	7334	8791	10665	7236
120 - 135	7,4	9,7	12,3	6,9	7288	8522	9659	6797
135 - 150	8,6	10,8	11,0	7,1	7644	7770	9283	6876
150 - 165	7,3	10,4	13,0	8,0	6763	8694	10373	7683
165 - 180	7,6	10,2	12,4	10,9	6361	9598	10322	10283
180 - 195	8,5	10,5	9,7	9,9	7350	9083	7547	9166
195 - 210	7,6	13,1	8,8	12,1	7062	9461	7742	8914

Tab. 16: Mittelwerte und Standardabweichungen der Wassergehaltsbestimmungen mit der Neutronensonde aus 4 (Meßstellen 1 - 4) bzw. 8 (Meßstellen 1 - 8) Messungen.

Datum	11.7.	23.7.	9.8.	2.9.	24.9.	8.10.
Meßstellen	1 - 4	1 - 4	1 - 4	1 - 4	1 - 4	1 - 4
Tiefe in cm	$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$
20	6,845	4,465	4,905	2,675	2,435	2,733
35	7,328	5,805	5,183	3,848	3,295	3,070
50	7,615	7,073	6,433	5,073	4,240	3,935
65	8,603	8,458	8,035	6,355	5,313	4,933
80	8,823	8,775	8,430	6,686	5,503	5,158
95	7,685	7,275	7,153	5,850	5,060	4,583
110	7,073	7,015	7,140	6,228	5,428	4,788
125	6,415	6,218	6,325	5,740	5,125	4,640
140	5,790	5,518	5,625	5,323	4,983	4,388
155	5,548	5,705	5,720	5,548	5,438	5,023
170	6,730	6,468	6,725	6,388	6,300	5,958
185	6,790	6,843	6,997	6,59	6,657	6,247
200	7,128	7,128	7,223	6,930	6,903	6,718
Datum	29.10.	13.11.	1.12.	19.12.	6.1.	
Meßstellen	1 - 4	1 - 4	1 - 4	1 - 4	1 - 4	
Tiefe in cm	$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$	
20	9,613	9,032	9,793	10,308	10,30	0,280
35	8,902	9,988	9,740	10,238	9,663	0,716
50	8,508	9,310	10,315	10,515	10,616	0,117
65	6,120	9,168	10,228	10,835	11,183	1,294
80	5,193	7,415	8,483	10,800	11,020	1,390
95	4,575	6,325	6,303	9,523	8,900	0,725
110	4,538	4,725	5,273	9,647	8,543	1,770
125	4,410	4,375	4,530	8,895	7,800	1,145
140	4,195	4,193	4,193	7,695	8,163	0,899
155	4,763	4,725	4,698	6,237	8,100	0,853
170	5,660	5,620	5,563	6,755	10,310	1,169
185	5,060	5,070	5,035	6,755	6,755	6,755
195	5,060	5,070	5,035	6,755	6,755	6,755

Datum	23.4.	20.5.	12.6.	3.7.	30.7.
Meßstellen	1 - 8	1 - 8	1 - 8	1 - 8	1 - 8
Tiefe in cm	$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$
20	10,976	1,312	10,718	1,323	9,515
35	10,088	0,704	9,683	0,724	8,453
50	9,992	0,476	9,626	0,595	8,571
65	10,406	1,353	10,348	1,327	9,483
80	10,726	1,524	10,817	1,491	10,327
95	9,785	1,518	9,577	1,370	8,997
110	9,230	1,871	9,228	1,801	8,611
125	8,460	1,668	8,687	1,551	8,022
140	7,991	1,492	8,328	1,397	7,778
155	8,050	1,880	8,701	1,764	7,893
170	9,000	1,725	10,111	1,534	9,076
185	8,452	1,067	9,557	1,121	8,747
200	8,593	1,169	9,266	1,417	8,846
					2,187
					1,283
					0,764
					1,300
					1,647
					1,477
					1,892
					1,635
					7,813
					7,493
					1,518
					1,951
					7,518
					8,755
					1,684
					8,521
					1,099
					1,273
					6,527
					5,896
					6,512
					1,6028
					2,036
					1,714
					7,851
					2,137
					2,495
					6,980
					1,974
					1,669
					6,940
					1,554
					7,093
					7,252
					1,789
					6,935
					1,637
					1,534
					8,196
					7,938
					1,116
					1,145
					8,192
					7,948
					8,102
					1,295
					4,458
					3,963
					4,867
					5,630
					7,010
					2,667
					6,201
					7,743
					2,555
					2,495
					7,001
					2,495
					2,205
					1,974
					1,801
					1,637
					1,771
					1,145
					8,102
					1,295

Datum	22.8.	19.9.	13.10.	6.11.	1.12.	23.12.
Meßstellen	1 - 8	1 - 8	1 - 8	1 - 8	1 - 8	1 - 8
Tiefe in cm	$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$
20	3,480	3,287	0,545	6,118	8,703	9,184
35	3,306	3,075	0,631	5,266	7,638	7,138
50	4,168	3,798	0,796	4,251	5,804	6,561
65	5,348	4,915	1,367	4,821	5,145	5,923
80	6,246	5,647	1,638	5,488	5,735	5,885
95	6,116	5,390	1,293	5,385	5,525	5,585
110	6,298	5,415	1,404	5,160	5,168	5,272
125	6,243	5,533	0,975	5,368	5,259	5,223
140	6,195	5,416	1,018	5,158	5,115	5,358
155	6,592	5,923	1,156	5,446	5,125	5,041
170	7,576	7,011	1,505	6,325	6,439	5,288
185	7,588	7,312	1,164	6,953	6,349	6,188
200	7,846	7,083	1,279	7,189	6,603	6,501
					7,026	7,065
					1,348	1,250
					0,493	0,892
					0,715	0,804
					0,899	0,697
					1,430	1,563
					1,597	1,566
					1,377	1,272
					5,223	1,576
					0,868	1,198
					0,669	0,906
					0,931	1,046
					1,282	1,409
					0,854	0,871
					1,348	1,250
					8,703	0,892
					7,638	0,804
					5,804	0,697
					5,145	1,563
					5,735	1,566
					5,525	1,272
					5,168	1,576
					5,259	1,198
					5,115	0,906
					5,125	1,046
					6,439	1,409
					6,603	0,871
					7,026	1,250
					1,348	0,892
					0,715	0,804
					0,899	0,697
					1,430	1,563
					1,597	1,566
					1,377	1,272
					5,223	1,576
					0,868	1,198
					0,669	0,906
					0,931	1,046
					1,282	1,409
					0,854	0,871
					1,348	1,250

Tab. 18: ml Wasser entzogen pro Kerze (KN = Kerzennummer) am:

Dat. KN	1973										
	11.04.	20.04.	08.05.	22.05.	05.06.	19.06.	11.07.	18.07.	01.08.	15.08.	30.08.
11	500	550	550	500	220	-	-	-	-	-	-
12	470	510	520	420	190	-	-	-	-	-	-
21	450	560	25	560	210	-	-	-	-	-	-
22	515	590	420	300	130	-	-	-	-	-	-
31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
32	590	590	600	450	100	-	-	-	-	-	-
41	560	490	600	550	220	-	-	-	-	-	-
42	550	530	590	315	70	-	-	-	-	-	-
51		280	400	265	230	210	-	-	80	-	-
52		410	540	450	380	350	-	20	-	-	-
61		220	260	220	190	160	-	-	-	-	-
62		590	590	570	590	520	-	-	-	-	-
71		420	480	320	310	220	-	-	-	-	-
72		500	530	275	230	160	-	-	-	-	-
81		450	430	435	440	320	-	-	-	-	-
82		220	300	150	140	90	-	-	-	-	-
13	270	425	220	210	180	55	-	-	-	-	-
14	480	510	440	380	320	200	-	-	-	-	-
23	420	600	380	330	230	55	-	-	-	-	-
24	260	530	230	250	220	80	-	-	-	-	-
33	325	490	250	235	200	-	-	-	-	-	-
34	460	480	25	45	280	110	-	-	-	-	-
43	330	470	260	230	210	85	-	-	-	-	-
44	425	480	300	290	200	90	-	-	-	-	-
53		320	360	370	320	340	270	260	70	-	-
54		470	520	510	370	380	330	350	210	-	-
63		340	510	460	370	410	110	30	-	-	-
64		130	130	150	130	150	140	40	20	-	-
73		100	130	140	80	150	150	190	150	120	-
74		100	160	130	100	100	110	110	90	90	-
83		520	560	550	500	500	450	520	260	-	-
84		300	370	380	340	360	340	410	180	-	-
15	510	490	300	290	280	250	400	550	360	320	340
16	410	410	280	275	280	260	420	550	390	300	370
25	250	510	250	220	210	190	290	360	260	235	270
26	370	540	25	240	220	200	310	420	290	250	280
35	430	480	250	255	230	195	340	420	290	250	260
36	236	260	130	130	130	130	210	150	180	160	170
45	210	420	210	190	190	170	280	320	260	235	250
46	110	170	90	75	80	75	120	170	130	100	120
55		270	270	300	270	310	340	450	410	410	330
56		300	310	340	320	350	360	410	430	450	440
65		490	500	510	490	500	430	460	490	395	140
66		590	620	625	620	620	650	680	610	610	640
75		120	130	140	140	150	180	240	170	190	200
76		160	180	200	190	210	230	260	240	230	250
85		180	200	215	210	220	250	280	230	150	30
86		360	375	420	350	350	340	360	380	380	390

Tab. 19: ml Wasser entzogen pro Kerze (KN = Kerzennummer) am:

Dat. KN	1973				1974					
	12.09.	26.09.	10.10.	24.10.	07.11.	19.12.	12.12.	04.01.	22.01.	06.02.
11	-	-	-	110	360	580	220	340	250	555
12	-	-	-	610	370	580	160	250	180	425
21	-	-	-	610	580	590	150	550	630	590
22	-	-	-	340	290	640	120	150	120	230
31	-	-	-	400	420	580	140	260	330	495
32	-	-	-	650	570	80	180	220	200	615
41	-	-	-	640	540	630	130	470	611	600
42	-	-	-	400	410	620	180	330	260	580
51	-	-	-	-	150	180	570	450	510	250
52	-	-	-	-	230	-	60	25	620	-
61	-	-	-	-	-	-	230	-	150	40
62	-	-	-	360	600	-	570	610	610	570
71	-	-	-	-	370	400	610	560	620	320
72	-	-	-	-	580	410	590	540	590	290
81	-	-	-	-	450	320	510	550	580	520
82	-	-	-	-	300	310	540	350	400	210
13	-	-	-	-	120	290	120	180	150	210
14	-	-	-	-	170	540	130	240	140	330
23	-	-	-	-	240	620	120	190	490	230
24	-	-	-	50	220	560	120	190	200	250
33	-	-	-	-	-	-	120	210	550	200
34	-	-	-	-	320	530	100	160	120	280
43	-	-	-	-	-	60	100	210	140	270
44	-	-	-	-	60	260	140	500	440	340
53	-	-	-	-	-	-	600	600	620	320
54	-	-	-	-	-	-	560	530	610	435
63	-	-	-	-	-	-	590	580	600	350
64	-	-	-	-	-	-	-	350	-	-
73	-	-	-	-	-	-	80	100	160	60
74	50	-	-	-	50	50	200	170	230	110
83	-	-	-	-	-	-	500	590	590	390
84	-	-	-	-	-	-	340	500	600	280
15	300	160	120	160	110	230	80	110	130	180
16	330	160	110	-	60	-	70	-	-	90
25	250	130	100	120	80	140	50	160	110	150
26	260	130	110	140	150	200	48	230	300	160
35	250	110	80	110	90	150	60	110	130	130
36	160	80	60	90	60	130	50	100	100	120
45	250	110	80	120	80	170	60	80	110	110
46	110	50	40	70	30	80	50	40	50	50
55	310	160	280	130	230	150	230	170	150	150
56	360	280	180	70	150	80	120	520	560	350
65	-	18	-	-	-	30	50	350	570	580
66	630	600	290	100	520	270	350	300	660	620
75	180	150	230	90	110	70	110	90	110	70
76	210	50	100	70	120	70	120	100	160	110
85	50	70	110	70	90	40	90	90	150	110
86	340	250	290	110	220	160	450	390	440	270

Tab. 20: ml Wasser entzogen pro Kerze (KN = Kerzennummer) am:

1974												
Dat.	19.02.	05.03.	23.04.	10.05.	29.05.	12.06.	26.06.	12.07.	14.08.	30.10.	13.11.	
KN												
11	600	520	100	230	-	140	-	-	-	-	350	
12	530	350	110	210	370	520	420	410	-	-	480	
21	560	370	150	380	530	550	530	420	-	460	440	
22	280	220	50	70	190	250	220	-	-	-	210	
31	580	460	90	250	440	500	350	230	-	120	350	
32	650	180	90	320	600	530	-	-	-	-	270	
41	650	610	90	-	-	-	-	-	-	-	400	
42	530	510	60	210	400	610	-	-	-	-	290	
51	280	220	50	70	50	40	-	-	-	-	350	
52	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	340	
61	-	40	-	-	-	-	-	-	-	-	325	
62	620	600	90	230	-	-	-	-	-	-	260	
71	370	260	50	70	-	-	-	-	-	-	-	
72	380	240	40	50	-	-	-	-	-	-	450	
81	540	510	90	-	90	40	-	-	-	-	350	
82	220	150	40	-	-	-	-	-	-	-	-	
13	240	200	80	80	190	220	-	-	-	-	70	
14	400	310	130	120	230	220	250	180	70	-	-	
23	270	210	80	90	200	250	-	-	-	-	30	
24	280	150	50	-	-	-	-	-	-	-	80	
33	310	240	130	120	160	150	-	-	-	-	20	
34	350	280	140	150	230	240	250	190	80	-	150	
43	320	220	110	-	-	-	-	-	-	-	20	
44	410	300	150	140	200	190	170	130	70	-	-	
53	350	290	140	100	100	100	-	-	200	60	525	
54	580	400	130	180	210	60	-	-	-	-	200	
63	410	200	150	160	100	-	-	-	-	-	400	
64	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
73	90	50	30	-	-	-	-	-	-	-	80	
74	110	90	50	60	-	-	-	-	-	-	150	
83	450	340	170	-	-	-	-	-	-	-	70	
84	320	260	150	-	150	120	-	-	100	50	175	
15	180	170	110	130	250	270	250	220	220	150	100	
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20	
25	160	130	90	100	180	210	170	160	160	110	60	
26	140	140	90	110	50	60	-	-	-	-	80	
35	130	130	80	90	180	200	170	150	150	50	-	
36	120	110	60	90	-	-	-	-	-	-	-	
45	120	120	70	90	170	220	180	160	160	-	50	
46	60	60	30	50	80	110	80	-	-	-	30	
55	150	160	120	140	130	200	-	-	400	-	170	
56	320	230	120	140	90	90	-	30	30	60	225	
65	610	590	260	190	150	110	-	50	-	-	60	
66	670	660	320	650	280	210	-	-	-	-	425	
75	80	80	50	80	80	50	-	-	-	-	80	
76	110	110	60	80	70	50	-	-	-	40	290	
85	110	90	50	60	40	-	-	-	-	-	40	
86	270	190	110	140	110	100	-	-	380	-	275	

Tab. 21: ml Wasser entzogen pro Kerze (KN = Kerzennummer) am:

86	85	76	75	66	65	55	46	45	36	35	26	25	16	15	84	74	73	64	63	54	53	44	43	34	24	23	14	82	81	72	71	62	52	51	42	41	32	31	22	21	12	11	KN	Date
20	-	-	20	180	50	30	-	20	-	30	20	20	-	40	140	110	80	60	170	250	440	-	180	220	150	120	60	120	380	440	500	290	290	390	390	420	290	450	350	490	380	-	1974	
240	110	140	35	500	500	130	50	65	40	35	140	290	55	75	220	230	160	210	465	440	340	470	390	465	360	450	220	100	415	475	485	495	220	325	435	220	445	325	450	475	405	335	1975	
245	-	65	145	310	315	196	196	165	15	185	185	215	400	145	395	145	80	195	425	208	360	480	225	265	320	440	220	66	445	395	390	250	305	425	225	385	275	325	450	485	405	425	08.01.	
205	95	155	75	440	385	140	285	135	30	160	170	170	125	175	290	105	55	420	-	360	455	260	205	225	320	440	60	375	280	410	260	310	240	275	385	215	425	390	465	380	205	22.01.		
230	80	130	80	505	460	180	245	80	30	95	120	155	180	320	320	160	100	190	465	465	435	235	285	355	350	430	125	365	490	575	260	260	360	310	210	255	425	390	455	395	395	05.07.		
190	190	90	70	430	320	130	220	50	80	110	110	170	180	210	80	50	20	350	-	260	370	330	140	230	260	890	200	370	240	350	260	240	170	220	380	260	455	220	400	270	19.02.			
180	80	110	80	360	260	180	190	90	100	100	100	130	150	210	100	60	-	190	-	290	320	170	120	110	190	180	90	310	210	290	350	180	130	190	280	400	200	250	300	300	05.03.			
150	150	80	50	480	170	130	170	60	70	70	70	80	80	-	60	40	-	280	-	220	220	110	130	110	210	110	70	310	180	280	-	110	130	190	390	480	200	390	160	150	19.03.			
140	30	70	40	350	240	80	20	50	50	60	60	120	120	-	130	60	-	430	-	280	370	140	-	200	310	160	80	410	340	430	240	240	260	380	460	310	450	258	420	470	03.04.			
250	250	150	460	450	440	160	30	120	158	165	225	165	60	220	100	60	-	255	-	330	325	180	-	180	180	349	100	400	130	230	245	170	170	250	365	275	170	159	310	170	22.05.			
180	180	90	70	230	170	140	50	70	70	80	110	110	180	220	100	80	-	420	380	250	110	80	-	70	180	-	90	350	110	210	410	170	50	-	-	-	170	50	120	30.04.				
20	20	60	50	220	130	150	30	50	50	80	100	100	140	-	30	20	-	210	180	130	-	-	-	-	80	-	40	80	20	30	40	-	-	-	-	-	-	-	-	05.06.				

Tab. 22: Mittelwerte und Standardabweichungen der Nitratstickstoffgehalte in ppm

Test-u. Vers.- fläche	Tiefe in m	11.4.73		20.4.73		8.5.73		22.5.73		5.6.73		19.6.73		11.7.73		18.7.73	
		$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
1	1	26	8,2	23	6,0	23	4,1	23	1,8	25	4,0	-	-	-	-	-	-
	1,0	35	5,5	34	5,9	35	4,7	35	5,4	35	7,0	32	14,6	-	-	-	-
	2,0	24	3,9	24	5,3	23	5,3	24	5,0	25	5,1	24	4,6	24	5,3	25	4,0
2	0,5	43	4,9	43	5,7	41	6,7	45	0,8	31	0,7	-	-	-	-	-	-
	1,0	47	6,8	48	4,8	45	5,9	47	6,3	45	7,7	23	9,8	-	-	-	-
	2,0	39	9,0	41	7,7	32	1,5	39	6,0	38	4,4	37	3,2	36	3,2	31	8,1
3	0,5	45	3,6	46	0,5	47	2,9	46	0,1	32	0,5	-	-	-	-	-	-
	1,0	25	3,8	25	4,2	22	0,1	23	2,5	29	7,2	22	-	-	-	-	-
	2,0	31	10,8	31	9,5	31	9,8	32	9,9	34	8,4	33	8,1	31	7,2	29	7,6
4	0,5	74	37,6	66	55,9	86	45,3	86	44,1	97	52,2	-	-	-	-	-	-
	1,0	36	3,0	40	2,4	35	0,6	35	1,4	36	0,9	27	0,7	-	-	-	-
	2,0	31	19,2	39	5,3	30	13,4	33	10,1	42	1,4	36	9,0	38	7,6	36	1,4
5	0,5	-	-	15	1,6	18	0,5	18	1,8	18	3,0	17	1,5	-	-	-	-
	1,0	-	-	11	1,8	12	1,9	14	2,6	12	1,2	12	1,2	10	2,3	10	1,9
	2,0	-	-	22	6,7	22	6,4	23	6,2	22	6,8	23	8,1	21	8,7	21	9,2
6	0,5	-	-	17	7,0	19	5,9	18	3,8	17	2,2	15	0,7	-	-	-	-
	1,0	-	-	9	0,7	11	0,3	13	1,6	12	0,3	14	1,8	12	1,3	14	-
	2,0	-	-	21	5,4	21	5,5	20	4,7	19	4,5	19	4,3	16	6,4	19	3,8
7	0,5	-	-	22	1,2	23	1,9	21	1,2	22	0,3	20	0,7	-	-	-	-
	1,0	-	-	9	0,4	12	0,4	12	1,5	13	0,7	15	0,7	14	2,0	12	2,6
	2,0	-	-	15	6,6	17	5,9	17	6,6	17	4,5	19	4,6	17	3,5	17	3,5
8	0,5	-	-	21	7,7	28	3,0	30	3,8	33	4,4	29	4,2	-	-	-	-
	1,0	-	-	21	2,8	20	2,0	20	2,2	21	2,2	20	1,2	19	2,0	16	2,4
	2,0	-	-	22	2,8	28	4,1	26	1,1	26	2,2	26	2,9	22	3,5	21	5,0

Test-u. Vers.= fläche	Tiefe in m	1.8.73	15.8.73	30.8.73	12.9.73	26.9.73	10.10.73	25.10.73	7.11.73
		$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
1	0,5	-	-	-	-	-	-	36	7,6
	2,0	25	3,7	23	4,2	24	4,1	25	2,6
2	0,5	-	-	-	-	-	-	21	2,2
	2,0	-	-	-	-	-	-	21	4,5
3	0,5	-	-	-	-	-	-	95	7,3
	2,0	20	8,4	25	1,3	31	5,2	34	0,6
4	0,5	-	-	-	-	-	-	31	1,1
	2,0	21	9,4	22	6,6	26	4,8	32	9,7
5	0,5	-	-	-	-	-	-	290	129,8
	2,0	31	4,4	31	2,1	34	1,7	36	3,7
6	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-
	2,0	72	22,5	20	13,7	23	18,5	1	0,1
7	0,5	-	-	-	-	-	-	7	0,1
	2,0	8	-	-	-	-	-	-	-
8	0,5	-	-	-	-	-	-	9	-
	2,0	16	7,7	10	9,8	3	1,8	1	0,1
9	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-
	2,0	14	0,4	14	0,1	-	-	-	-
10	0,5	-	-	-	-	-	-	125	3,5
	2,0	17	3,0	16	3,2	17	2,5	27	1,8
11	0,5	-	-	-	-	-	-	2	2,2
	2,0	16	1,2	9	8,4	16	0,6	169	162,1
12	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-
	2,0	16	1,2	9	8,4	16	0,6	5	5,9
13	0,5	-	-	-	-	-	-	10	7,5
	2,0	16	1,2	9	8,4	16	0,6	10	7,5

Test-u. Vers.- fläche	Tiefe in m	19.11.73	12.12.73	4.01.74	22.01.74	6.02.74	19.02.74	5.03.74								
		$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$								
		s	s	s	s	s	s	s								
1	1	0,5 1,0 2,0	38 51 23	18,9 9,8 0,2	32 40 18	20,3 2,1 2,9	24 23 14	24,9 2,8 4,7	18 16 19	16,8 4,7 0,1	15 13 27	11,8 2,2 3,0	12 10 23	7,4 1,6 0,4	14 11 24	7,0 0,4 0,3
2	2	0,5 1,0 2,0	77 65 35	2,7 2,5 0,9	33 56 33	4,8 6,2 1,5	9 33 38	0,8 6,1 2,0	6 22 41	1,5 1,5 2,7	7 22 42	0,7 0,7 0,9	8 23 42	0,5 1,2 2,7	10 24 44	0,3 3,0 2,1
3	3	0,5 1,0 2,0	53 87 28	20,1 0,2 4,1	35 52 21	14,4 1,7 3,7	27 49 34	1,9 26,1 9,6	17 39 34	5,6 31,3 8,3	15 36 39	4,3 27,7 4,6	14 86 38	3,2 25,5 3,8	16 36 44	3,9 23,9 1,9
4	4	0,5 1,0 2,0	266 122 34	44,4 45,6 2,0	173 132 27	8,1 58,2 4,9	76 106 60	39,5 64,0 35,2	43 87 72	29,4 54,4 42,7	39 81 79	21,1 50,6 47,0	33 74 78	14,0 41,7 43,8	37 71 74	12,1 38,1 36,8
5	5	0,5 1,0 2,0	30 - 1	0,2 - 1,0	12 6 7	11,5 1,3 6,4	14 7 12	0,8 2,2 6,6	15 9 15	0,2 3,8 12,3	18 12 18	0,2 4,0 11,6	18 12 20	0,1 4,0 12,6	19 13 21	0,5 3,6 11,4
6	6	0,5 1,0 2,0	5 - 2	0,5 - 2,1	17 9 5	3,7 1,2 1,6	15 12 11	0,9 0,6 1,1	16 12 16	2,0 1,0 1,7	17 16 19	7,4 0,2 5,3	21 17 17	0,4 0,1 4,7	18 18 18	8,5 1,2 6,3
7	7	0,5 1,0 2,0	121 35 1	44,7 - 0,7	127 59 7	96,0 50,1 1,2	153 71 8	132,8 60,6 0,9	160 59 14	157,5 50,2 9,5	141 51 16	134,2 38,4 7,9	114 43 15	105,8 30,9 9,6	121 56 21	110,8 32,5 10,4
8	8	0,5 1,0 2,0	154 - 8	141,0 - 6,2	56 90 11	31,5 38,9 7,3	31 72 14	13,8 4,6 7,3	22 60 21	7,2 19,3 6,7	26 61 31	3,3 25,1 6,9	23 56 32	0,8 21,9 0,7	32 55 31	1,8 21,7 4,3

Test-u. Vers.= fläche	Tiefe in m	23.04.74	10.05.74	29.05.74	12.06.74	26.06.74	12.07.74	14.08.74
		$\bar{x}$ s	$\bar{x}$ s	$\bar{x}$ s	$\bar{x}$ s	$\bar{x}$ s	$\bar{x}$ s	$\bar{x}$ s
1	1	0,5 1,0 2,0	14 12 21	9 15 23	15 15 23	12 15 19	13 16 20	- 1 23
	2	0,5 1,0 2,0	11 22 37	13 32 38	13 34 38	14 - 39	17 - 37	- - 38
	3	0,5 1,0 2,0	16 31 33	21 31 39	21 32 42	24 16 40	30 16 35	- 15 39
	4	0,5 1,0 2,0	46 66 60	74 108 74	69 110 77	- 113 76	- 110 89	- 107 92
	5	0,5 1,0 2,0	12 11 19	1 8 17	1 6 18	- 2,0 9,2	- - 19	- 2 5
	6	0,5 1,0 2,0	12 12 18	- 15 15	- 15 17	- - 2,9	- - 11	- - -
	7	0,5 1,0 2,0	21 24 19	4,3 2,5 4,7	61,1 47 15	- - -	- - -	- - -
	8	0,5 1,0 2,0	24 26 26	6,4 15,5 2,9	- - 27	- - -	- - -	- 2 13

Tab. 26: Mittelwerte und Standardabweichungen der Nitratstickstoffgehalte in ppm

Test-u. Vers.- fläche		Tiefe in m		30.10.74		13.11.74		3.12.74		19.12.74		8.01.75		22.01.75		5.02.75	
		$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
1	1	0,5	-	3	0,9	2	-	6	1,7	8	4,7	5	1,2	8	4,1	7	0,7
		1,0	4	2	-	2	1,8	5	2,1	7	1,3	7	0,4	7	0,7	14	2,4
		2,0	-	5	3,7	1	-	9	2,6	15	-	13	2,2	14	2,4		
2		0,5	4	4	1,0	4	3,2	15	7,5	9	0,5	9	2,6	11	2,0		
		1,0	-	4	2,3	2	1,3	16	3,8	14	0,5	14	0,7	14	0,7		
		2,0	-	2	0,2	7	8,6	7	7,7	20	1,1	21	0,9	22	0,5		
3		0,5	5	5	1,0	7	2,8	12	4,7	10	3,1	10	2,8	12	3,8		
		1,0	4	8	4,0	5	-	5	3,5	10	1,4	9	1,5	10	1,4		
		2,0	-	4	-	-	-	2	0,2	21	16,5	21	16,1	22	15,7		
4		0,5	-	90	105,1	118	93,7	82	38,0	24	6,3	21	5,5	25	8,4		
		1,0	-	18	-	-	-	23	0,3	17	13,5	28	1,2	27	3,2		
		2,0	-	4	1,4	-	-	20	9,1	24	23,0	39	3,9	51	9,3		
5		0,5	-	38	13,2	44	11,9	39	6,7	9	0,5	8	0,1	7	2,0		
		1,0	-	15	2,1	22	2,2	15	1,3	11	-	8	-	12	-		
		2,0	6	14	13,5	23	14,6	16	13,3	16	6,6	19	8,2	26	12,3		
6		0,5	-	32	7,3	28	3,9	15	1,0	6	2,1	6	3,7	9	4,6		
		1,0	-	25	-	28	3,8	28	0,9	13	0,8	10	3,8	18	-		
		2,0	2	14	-	17	1,5	29	16,2	25	5,8	14	9,8	29	3,2		
7		0,5	-	18	-	64	24,6	33	13,8	8	1,1	7	6,0	10	1,8		
		1,0	-	16	10,4	30	-	22	6,3	16	6,8	17	2,1	22	3,6		
		2,0	1	45	45,8	8	-	16	11,7	15	6,9	17	3,7	22	7,2		
8		0,5	5	92	-	105	-	33	25,1	6	0,6	7	0,5	11	3,9		
		1,0	2	74	7,2	145	19,6	117	1,5	21	12,7	36	14,1	38	11,3		
		2,0	-	23	3,5	22	-	49	4,8	35	0,2	30	10,7	36	4,6		

Test-u. Vers.- fläche	Tiefe in m	19.o3.75	8.o4.75	3o.o4.75	22.o5.75	5.o6.75	27.o6.75	23.o7.75										
		$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s									
1	1	0,5	8	4,5	9	1,9	10	0,7	8	4,4	-	-	-	-	-	-	-	-
		1,0	8	0,4	8	1,3	11	0,1	10	-	14	-	-	-	-	-	-	-
		2,0	16	2,4	14	4,0	15	3,7	15	-	23	-	17	-	-	-	-	-
2		0,5	12	1,3	13	2,5	22	2,1	13	5,0	-	-	-	-	-	-	-	-
		1,0	16	0,9	16	1,0	20	0,5	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		2,0	23	-	20	1,0	23	3,2	18	1,8	9	1,9	4,0	-	-	-	-	-
3		0,5	13	2,7	13	2,1	20	5,7	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		1,0	11	-	9	-	17	-	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		2,0	23	15,4	17	9,9	23	15,2	21	11,7	10	4,2	4,2	-	-	-	-	-
4		0,5	30	7,3	22	2,2	22	7,9	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		1,0	31	3,3	27	5,3	26	5,7	22	3,7	24	-	-	-	-	-	-	-
		2,0	44	3,7	34	8,8	40	4,0	26	-	36	-	-	21	-	-	-	-
2	5	0,5	4	5,5	8	1,8	11	3,9	10	3,4	1	-	6,6	-	-	-	-	-
		1,0	7	-	9	-	8	-	10	3,4	13	4,2	2,7	-	-	-	-	-
		2,0	21	10,5	17	4,2	21	8,3	18	9,4	20	8,2	9,1	18	10,4	-	-	-
6		0,5	10	-	7	-	13	3,0	14	5,2	10	0,7	7,1	-	-	-	-	-
		1,0	13	-	12	-	12	-	15	-	15	-	-	-	-	-	-	-
		2,0	23	3,5	21	1,5	18	2,1	17	2,5	19	2,3	1,2	20	0,7	-	-	-
7		0,5	9	0,9	11	0,8	12	1,2	15	0,9	5	0,2	-	-	-	-	-	-
		1,0	10	0,9	16	3,2	15	2,0	15	2,3	15	2,4	-	-	-	-	-	-
		2,0	18	5,0	14	6,9	19	4,9	14	4,5	14	4,3	1,1	14	-	-	-	-
8		0,5	10	3,6	14	8,2	19	9,5	22	11,5	15	5,9	-	-	-	-	-	-
		1,0	44	-	38	-	23	14,7	31	-	28	-	-	-	-	-	-	-
		2,0	19	14,3	28	5,7	26	2,8	24	6,4	19	2,3	-	7	-	-	-	-

Tab. 28: Mittelwerte und Standardabweichungen der Nitratstickstoffgehalte in ppm

Test-u. Vers.- fläche		Tiefe in m		22.01.76		24.02.76		10.03.76	
		$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
1	1	0,5	18	22,8	10	13,6	9	7,6	
		1,0	8	7,7	27	-	25	-	
		2,0	-	-	14	-	-	-	
2	2	0,5	35	5,9	14	-	23	-	
		1,0	31	-	20	-	-	-	
		2,0	23	-	24	-	23	-	
3	3	0,5	11	10,5	13	9,6	-	-	
		1,0	29	3,2	-	-	-	-	
		2,0	16	-	-	-	-	-	
4	4	0,5	29	22,2	25	19,0	-	-	
		1,0	56	8,9	44	8,9	43	-	
		2,0	38	-	-	-	-	-	
2	5	0,5	57	-	59	-	53	-	
		1,0	28	2,6	29	5,7	32	-	
		2,0	28	-	27	-	25	-	
6	6	0,5	77	-	43	-	38	-	
		1,0	74	-	57	24,8	63	-	
		2,0	33	-	30	-	36	1,2	
7	7	0,5	33	9,1	17	0,7	30	27,9	
		1,0	49	28,3	50	41,2	-	-	
		2,0	19	-	23	10,1	37	-	
8	8	0,5	135	-	100	-	77	-	
		1,0	-	-	46	-	45	-	
		2,0	23	-	31	-	31	-	

Tab. 29: Mittelwerte und Standardabweichungen der "Kohlenstoffgehalte" in ppm

Test- u. Vers.- fläche	Tiefe in m.	08.05.73		22.05.73		05.06.73		19.06.73		11.07.73		18.07.73		01.08.73		15.08.73	
		$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
1	0,5	30	12,7	38	6,4	17	4,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1,0	20	4,0	21	8,0	20	7,3	28	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2,0	15	-	15	5,6	17	4,1	22	1,7	33	3,4	19	1,7	18	9,2	24	4,9
2	0,5	28	-	34	-	29	16,8	23	8,1	-	-	-	-	-	-	-	-
	1,0	21	0,8	25	16,8	17	1,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2,0	23	10,3	16	15,1	15	-	24	3,4	52	-	35	8,3	27	11,7	24	6,6
3	0,5	27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1,0	22	4,8	37	-	23	11,4	51	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2,0	19	7,9	22	0,8	19	-	22	6,8	36	17,6	26	8,3	15	3,4	14	6,6
4	0,5	20	4,0	41	10,4	19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1,0	29	7,9	24	0,8	15	4,1	37	12,8	-	-	-	-	-	-	-	-
	2,0	16	11,9	37	14,4	19	-	28	-	40	-	25	6,7	17	2,5	21	3,3
2	0,5	28	10,3	22	4,0	22	-	33	2,6	-	-	-	-	-	-	-	-
	1,0	24	9,5	20	8,8	28	8,9	40	1,7	41	2,5	31	7,5	24	-	-	-
	2,0	23	8,7	22	5,6	26	4,9	48	1,7	42	16,8	34	9,2	25	8,3	31	4,9
6	0,5	20	9,5	28	4,8	27	7,3	33	7,7	-	-	-	-	-	-	-	-
	1,0	11	0,8	32	2,4	24	8,9	31	4,3	40	0,8	-	-	-	-	-	-
	2,0	23	5,6	25	0,8	26	1,6	29	-	33	-	18	6,7	21	3,3	25	4,9
7	0,5	20	2,4	45	10,4	26	0,8	29	5,1	-	-	-	-	-	-	-	-
	1,0	13	4,8	36	38,3	24	2,3	25	-	31	7,6	-	-	37	-	29	6,6
	2,0	12	1,6	25	18,4	16	3,2	24	2,6	29	4,2	28	8,3	25	-	23	3,3
8	0,5	23	4,0	51	8,0	29	6,5	46	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1,0	16	1,6	27	7,2	28	2,4	37	10,2	44	15,1	34	5,0	17	0,8	-	-
	2,0	15	4,8	32	9,6	25	7,3	42	-	41	9,2	39	4,2	21	1,7	24	13,2

Tab. 30: Mittelwerte und Standardabweichungen der "Kohlenstoffgehalte" in ppm

Test- u. Vers.- fläche	Tiefe in m	Mittelwerte über alle Entnahmetermine											
		30.08.73	26.09.73	25.10.73	07.11.73	19.11.73	12.12.73	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
1 1	0,5	-	-	65	21,1	29	18	29	19,7				
	1,0	-	-	-	52	46	18	29	13,9				
	2,0	29	4,9	18	30	19	11	18	7,5				
2	0,5	-	-	64	37	38	16	34	14,3				
	1,0	-	-	-	47	54	20	31	15,7				
	2,0	28	0,8	27	28	29	-	26	9,7				
3	0,5	-	-	64	34	29	19	35	17,3				
	1,0	-	-	-	40	35	46	36	10,9				
	2,0	20	4,9	31	-	24	-	23	6,5				
4	0,5	-	-	65	39	30	26	34	16,0				
	1,0	-	-	-	-	36	31	27	8,9				
	2,0	43	26,9	25	-	25	-	26	10,1				
2 5	0,5	-	-	-	43	18	22	27	8,6				
	1,0	-	-	-	-	-	18	28	8,6				
	2,0	36	2,4	32	23	21	19	29	8,4				
6	0,5	-	-	56	20	42	22	31	12,5				
	1,0	-	-	-	-	32	18	27	9,8				
	2,0	29	2,4	37	30	25	26	27	4,8				
7	0,5	-	-	-	41	29	21	30	9,5				
	1,0	-	-	-	-	-	24	27	7,7				
	2,0	32	7,3	-	19	-	15	24	7,0				
8	0,5	-	-	-	38	34	15	34	12,6				
	1,0	-	-	-	-	32	20	28	8,0				
	2,0	-	-	-	-	-	-	-	-				

Fläche	in m	17.4.73	25.4.73	8.5.73	22.5.73	5.6.73	19.6.73	11.7.73	18.7.73
1	1	0,5	-	-	53 3,5	69 0,3	-	-	-
	1,0	52 0,8	-	52 11,4	62 6,7	73 13,0	75 15,8	-	-
	2,0	58 8,7	-	58 13,6	56 10,0	66 14,0	72 13,1	55 9,4	47 5,7
2	0,5	53 9,8	-	55 9,6	66 8,3	78 13,7	-	-	-
	1,0	70 11,4	-	71 27,5	63 8,7	80 16,5	80 12,5	-	-
	2,0	69 7,4	-	71 13,4	63 4,4	79 5,2	84 5,6	63 3,6	54 3,5
3	0,5	70 4,0	-	61 12,5	70 -	87 -	-	-	-
	1,0	73 -	-	83 -	60 1,3	79 12,8	87 -	-	-
	2,0	63 5,0	-	61 2,3	64 12,6	75 18,9	77 13,6	55 4,6	38 7,0
4	0,5	63 13,0	-	67 18,7	73 13,6	88 30,7	62 -	-	-
	1,0	64 22,7	-	84 42,6	65 2,7	71 4,8	74 5,4	-	-
	2,0	63 5,5	-	52 0,9	63 11,7	73 15,2	79 10,0	57 7,1	49 2,7
2	0,5	67 5,1	-	48 12,7	55 4,7	59 1,9	72 1,6	-	-
	1,0	-	58 4,4	46 10,7	66 14,9	79 21,8	86 13,7	63 5,6	55 5,9
	2,0	-	65 12,0	50 13,9	67 11,5	75 18,4	83 14,6	57 10,2	51 7,6
6	0,5	-	65 11,4	55 22,5	63 11,2	70 7,8	82 5,3	-	-
	1,0	-	67 14,8	57 22,3	59 9,8	65 9,5	75 7,8	54 1,9	42 0,4
	2,0	-	60 9,0	52 6,0	65 11,7	78 14,8	78 0,4	59 8,6	51 5,0
7	0,5	-	68 11,7	51 13,1	66 10,8	77 12,9	80 13,4	-	50 -
	1,0	-	65 9,4	56 10,5	60 1,8	67 7,0	74 7,8	53 5,5	45 6,1
	2,0	-	55 1,6	40 1,9	62 0,1	67 2,3	78 0,4	53 0,2	48 0,7
8	0,5	-	62 0,1	51 5,7	69 11,0	85 20,6	87 12,7	-	-
	1,0	-	71 9,9	64 19,0	66 2,0	74 3,3	79 1,1	55 0,2	48 -
	2,0	-	68 5,2	56 7,1	66 1,7	71 4,9	80 4,7	53 9,2	46 5,2

Tab. 32 : Mittelwerte und Standardabweichungen der Calciumgehalte in ppm

Test-u. Vers.= fläche		Tiefe in m		1.8.73		15.8.73		30.8.73		12.9.73		26.9.73		10.10.73		25.10.73		7.11.73	
				$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
1	1	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	67	14,1	74	14,1
		1,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	84	11,9
		2,0	42	4,4	-	76	11,8	75	10,7	75	11,8	49	1,9	44	4,2	43	-	56	4,2
2	2	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	80	8,9	84	4,8
		1,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	66	-	85	4,1
		2,0	49	5,3	-	93	14,3	95	14,3	98	10,7	59	6,4	57	7,6	56	3,3	66	3,2
3	3	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	85	0,3	81	19,4
		1,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	103	-
		2,0	44	6,6	-	82	15,1	83	17,2	85	16,8	58	7,8	47	8,3	56	4,1	59	11,8
4	4	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	103	6,6	107	3,2
		1,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	-
		2,0	45	2,2	-	85	5,8	89	8,3	87	6,5	56	7,9	48	1,5	54	0,4	60	5,2
2	5	0,5	43	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	51	-
		1,0	53	9,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		2,0	48	9,3	-	89	23,3	92	19,5	97	6,9	62	2,7	56	5,2	60	1,3	64	6,1
6	6	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	72	-	75	-
		1,0	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		2,0	62	7,8	-	95	9,3	125	19,2	143	-	82	-	79	-	75	-	78	-
7	7	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	83	1,1
		1,0	57	7,7	-	86	11,2	-	-	74	-	-	-	-	-	-	-	59	-
		2,0	55	1,4	-	85	2,2	91	4,7	78	8,8	52	1,1	51	3,1	53	6,8	55	8,2
8	8	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75	30,8
		1,0	54	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		2,0	51	1,9	-	89	14,7	127	66,5	126	76,2	86	54,2	80	51,0	82	45,7	74	41,4

Test-u.
Vers.-
fläche

	Tiefe in m	19.11.73	12.12.73	4.1.74	22.1.74	6.2.74	19.2.74	5.3.74	23.4.74
		$\bar{x}$ s	$\bar{x}$ s	$\bar{x}$ s	$\bar{x}$ s	$\bar{x}$ s	$\bar{x}$ s	$\bar{x}$ s	$\bar{x}$ s
1	1	68 23,3 82 12,7 52 -	46 19,6 54 6,6 40 5,7	41 15,7 43 4,4 37 -	48 5,2 37 1,4 37 -	48 6,0 42 6,4 43 5,5	52 6,6 53 2,3 47 -	52 8,1 52 4,2 49 -	77 23,2 82 16,3 55 -
	2	74 3,7 77 6,6 67 6,6	38 5,4 50 2,0 - -	28 0,8 39 3,3 43 3,5	27 14,1 35 2,3 52 9,7	44 27,1 38 4,3 52 8,8	52 21,1 54 2,8 60 1,9	52 20,6 53 2,2 59 1,2	77 40,3 69 - 86 14,8
	3	73 12,0 88 - 60 6,3	47 5,5 56 5,9 45 4,1	34 2,8 43 19,7 45 7,7	38 5,5 47 29,1 55 16,0	50 2,0 57 10,5 62 18,0	59 6,2 63 10,2 60 7,3	61 4,2 62 4,0 62 3,3	96 12,7 105 - 88 24,7
	4	102 4,4 86 9,8 59 2,3	67 1,3 65 10,4 47 1,1	47 13,1 55 17,5 52 9,3	40 12,7 57 23,2 73 -	48 4,9 56 22,4 62 18,0	53 2,9 60 18,7 64 15,1	60 3,2 61 9,5 65 14,3	95 2,2 90 28,3 110 -
2	5	57 - - - 64 5,9	37 - 43 8,0 46 2,7	35 - 40 1,4 53 3,7	36 - 59 7,7 48 5,7	38 - 61 8,3 47 11,8	48 - 59 1,8 56 5,9	52 - 67 6,3 62 10,7	44 - 48 2,8 40 7,1
	6	72 - 56 - 75 -	47 2,8 43 - 50 -	47 - 40 - 53 3,7	58 18,5 44 - 51 8,6	58 23,1 47 - 50 11,0	75 - 57 - 59 7,1	72 - 62 - 62 10,4	55 - 41 - 43 7,1
	7	86 4,4 65 - 59 8,1	58 11,1 49 9,1 41 2,5	58 14,6 48 11,7 40 3,5	76 10,3 49 18,2 44 7,4	76 5,9 45 17,2 41 3,0	77 13,6 62 9,5 56 6,1	81 15,1 71 - 54 4,0	54 5,7 57 26,2 62 2,8
	8	99 - - - 75 36,5	49 9,2 58 9,4 56 26,9	41 11,7 51 1,1 51 21,2	45 11,2 55 8,1 59 23,1	59 11,8 55 9,8 58 14,7	67 12,8 67 2,5 72 14,8	66 16,1 66 7,1 72 19,5	76 29,0 84 12,3 74 26,9

Tab. 34: Mittelwerte und Standardabweichungen der Calciumgehalte in ppm

Test-u. Vers.- fläche	Tiefe in m	10.5.74		29.5.74		12.6.74		26.6.74		12.7.74		14.8.74		30.10.74		13.11.74	
		$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
1	1	63	10,6	75	-	113	57,6	65	-	48	-	-	-	-	-	66	58,3
	1,0	69	-	120	7,1	124	8,8	140	-	135	-	130	-	-	-	30	-
	2,0	58	-	90	-	103	-	95	-	88	-	83	-	20	-	29	22,9
2	0,5	76	24,7	108	21,2	106	23,0	96	30,1	108	-	-	-	55	-	64	23,0
	1,0	70	-	125	-	143	-	-	-	-	-	-	-	-	-	50	31,8
	2,0	84	12,7	153	-	160	-	158	-	168	-	160	-	90	-	78	74,2
3	0,5	84	12,7	133	3,5	135	0,4	138	-	138	-	-	-	18	-	40	7,1
	1,0	93	-	151	15,9	150	27,9	135	-	123	-	120	-	-	-	40	-
	2,0	84	12,7	156	15,9	152	22,6	154	19,4	158	24,7	154	23,0	48	-	20	-
4	0,5	93	-	175	-	166	-	-	-	-	-	-	-	-	-	131	111,4
	1,0	96	-	210	-	213	-	213	-	235	-	235	-	-	-	-	-
	2,0	92	6,4	179	19,4	168	31,8	165	31,8	178	-	173	-	-	-	8	7,1
2	5	87	-	295	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	264	19,4
	1,0	87	-	174	1,8	173	3,5	-	-	-	-	143	-	-	-	204	86,6
	2,0	70	7,1	150	35,4	134	8,8	-	-	153	-	141	8,8	28	-	74	33,6
6	0,5	93	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	258	60,1
	1,0	70	-	150	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	238	-
	2,0	78	12,7	156	23,0	138	10,6	-	-	195	-	-	-	25	-	86	12,4
7	0,5	93	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	243	-
	1,0	75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	80	53,0
	2,0	62	4,9	165	50,0	-	-	-	-	-	-	-	-	8	-	143	141,4
8	0,5	-	-	223	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	370	-
	1,0	-	-	183	-	143	-	-	-	-	-	140	-	10	-	156	12,4
	2,0	81	16,9	98	-	102	-	-	-	-	-	100	-	-	-	69	15,9

Test-u.
Vers.-
fläche

Tiefe
in m

	3.12.74	19.12.74	8.1.75	22.1.75	5.2.75	19.2.75	5.3.75	19.3.75
	$\bar{x}$ s	$\bar{x}$ s	$\bar{x}$ s	$\bar{x}$ s	$\bar{x}$ s	$\bar{x}$ s	$\bar{x}$ s	$\bar{x}$ s
1 1	0,5 43	112 5,7	8 3,4	-	6 4,6	6 4,6	5 4,2	10 3,3
	1,0 79	120 11,2	8 0,3	-	7 1,9	8 2,0	8 1,1	9 5,9
	2,0 70	98 27,6	10 2,5	-	11 1,8	13 1,6	12 1,6	16 1,8
2	0,5 78	139 35,4	8 1,4	-	51 8,5	5 0,4	5 0,5	6 2,5
	1,0 60	117 15,6	12 1,3	-	10 0,3	11 0,4	11 1,1	12 0,2
	2,0 53	113 58,0	12 1,4	-	14 1,4	15 1,3	15 0,6	14 0,4
3	0,5 63	104 19,8	8 2,3	-	7 1,4	6 2,3	5 1,1	8 5,8
	1,0 73	115 4,2	13 5,7	-	12 7,1	11 7,2	10 6,9	16 -
	2,0 -	154 -	15 1,2	-	15 0,6	16 0,6	15 0,8	8 0,7
4	0,5 161	171 18,4	13 2,7	-	9 1,6	9 1,4	9 2,8	9 4,1
	1,0 -	108 19,8	10 0,1	-	11 0,8	12 1,6	11 1,8	9 1,2
	2,0 -	61 26,7	14 -	-	13 2,5	16 -	15 -	14 3,0
5	0,5 285	213 46,7	12 5,3	-	6 1,2	6 1,3	6 0,9	6 -
	1,0 245	146 5,7	12 5,7	-	12 7,1	10 -	9 -	9 -
	2,0 142	130 56,6	12 1,8	-	13 0,7	13 1,1	13 1,4	13 0,8
6	0,5 264	133 4,3	6 1,8	-	5 2,7	5 2,3	5 3,0	8 -
	1,0 218	214 25,4	15 1,8	-	10 0,9	12 -	12 -	12 -
	2,0 125	21,2 56,6	17 1,4	-	17 1,4	17 1,6	14 6,7	15 0,7
7	0,5 273	165 60,8	8 4,0	-	5 2,5	6 2,1	11 4,7	9 6,9
	1,0 136	155 29,7	14 6,4	-	16 6,2	13 2,8	11 -	9 -
	2,0 -	95 49,5	12 -	-	14 2,1	13 1,6	11 1,1	14 -
8	0,5 413	112 93,3	5 2,8	-	3 0,6	4 0,6	11 5,3	14 -
	1,0 264	251 12,7	18 1,1	-	14 2,1	14 2,1	7 2,5	11 -
	2,0 115	157 0,7	18 1,1	-	17 2,3	18 8,1	14 -	17 2,6

Tab. 37: Mittelwerte und Standardabweichungen der Magnesiumgehalte in ppm

Test-u. Vers.- fläche	Tiefe in m	1.8.73		15.8.73		30.8.73		12.9.73		26.9.73		10.10.73		25.10.73		7.11.73	
		$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	0,5	9	1,1
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	0,6
	2,0	4	-	7	0,1	6	0,1	6	0,1	6	0,2	6	0,3	5	-	7	0,7
2		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	0,9	11	0,7
	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	-	10	0,3
	1,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	0,6	8	0,2
3	2,0	4	0,1	7	0,7	7	0,4	7	0,5	7	0,4	6	0,4	7	-	9	2,0
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	0,4	12	-
	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	0,6
4	1,0	4	0,1	6	0,2	6	0,2	6	0,1	5	0,2	5	0,1	5	0,2	7	-
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11	1,1	13	0,6
	2,0	4	-	6	0,3	6	-	6	0,3	6	0,4	5	0,2	6	0,5	10	-
5		3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	-
	0,5	3	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	-
	1,0	4	0,2	6	0,6	6	-	6	0,2	6	0,9	6	1,0	6	1,2	8	1,1
6	2,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	-	7	-
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	-	-	-
	0,5	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	1,0	4	0,1	6	0,1	7	0,8	8	-	6	-	6	-	7	-	9	-
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	0,2
8		4	0,2	6	0,7	-	-	6	-	-	-	-	-	-	-	8	-
	0,5	4	0,1	6	0,2	6	0,4	6	0,1	5	0,7	5	0,5	6	1,3	8	1,5
	1,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	3,1
2	2,0	3	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		3	0,1	6	0,6	7	2,6	7	3,7	7	3,7	6	2,6	7	3,5	88	3,3

Tab. 38 : Mittelwerte und Standardabweichungen der Magnesiumgehalte in ppm

Test-U. Vers.- fläche	Tiefe in m	19.11.73		12.12.73		4.1.74		22.1.74		6.2.74		19.2.74		5.3.74		23.4.73	
		$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
1	1	0,5	1,3	7	1,9	6	1,8	7	0,3	7	0,6	5	0,4	5	0,5	12	3,5
		1,0	0,7	8	0,1	7	0,4	8	0,1	8	0,7	5	0,3	6	0,1	13	2,3
		2,0	-	6	0,1	6	-	8	-	8	0,3	6	-	6	-	16	-
2		0,5	0,5	6	0,7	4	0,3	6	2,8	5	1,8	5	1,1	5	1,0	12	6,4
		1,0	-	8	0,4	7	0,3	7	0,1	8	0,4	5	0,2	5	-	15	0,7
		2,0	0,7	-	-	7	0,5	9	0,5	9	0,9	6	0,3	6	0,3	20	2,3
3		0,5	1,1	7	0,8	5	0,6	7	0,4	6	0,9	5	-	5	0,3	12	-
		1,0	-	8	1,6	6	2,4	8	3,1	8	3,6	6	0,8	5	0,7	15	7,4
		2,0	0,1	7	-	6	0,6	8	0,9	8	1,0	5	0,2	5	0,4	14	2,1
4		0,5	0,3	9	0,6	7	1,5	7	1,7	8	2,2	5	0,3	5	0,3	14	3,0
		1,0	1,1	9	1,6	8	1,8	10	2,0	10	1,9	6	0,7	6	0,6	19	7,1
		2,0	0,4	6	0,4	7	0,9	10	1,0	10	1,4	6	0,2	6	-	20	-
2	5	0,5	-	5	-	5	-	6	-	5	-	5	-	5	-	8	-
		1,0	-	5	0,4	5	-	7	0,3	7	1,8	5	0,2	5	0,2	10	0,4
		2,0	1,1	6	0,5	7	0,6	8	0,2	7	-	5	0,5	5	0,1	12	0,4
6		0,5	-	6	0,5	5	-	8	0,1	7	0,6	6	-	5	-	10	-
		1,0	-	5	-	5	-	6	-	5	-	6	-	5	-	8	-
		2,0	-	6	-	8	0,8	8	0,9	7	0,7	5	0,3	5	-	11	-
7		0,5	0,6	8	1,9	8	2,1	10	2,8	10	2,6	6	0,8	6	0,8	15	7,0
		1,0	-	8	0,9	8	1,7	11	1,3	10	1,1	6	0,5	6	-	17	4,2
		2,0	1,3	7	0,9	7	0,9	9	2,1	8	1,5	5	0,4	6	0,4	13	2,0
8		0,5	-	6	1,4	5	1,1	7	1,3	6	0,4	5	0,5	6	0,4	9	2,5
		1,0	-	7	1,0	7	0,2	9	0,7	8	1,0	5	0,4	5	0,1	12	2,8
		2,0	2,2	7	2,3	6	2,0	9	2,8	8	1,9	6	0,5	6	0,4	11	1,3

Test-u. Vers.- fläche		Tiefe in m	10.5.74	29.5.74	12.6.74	26.6.74	12.7.74	14.8.74	30.10.74	13.11.74
			$\bar{x}$ s	$\bar{x}$ s	$\bar{x}$ s	$\bar{x}$ s	$\bar{x}$ s	$\bar{x}$ s	$\bar{x}$ s	$\bar{x}$ s
1	1	0,5	11 2,1	9 -	14 6,5	8 -	8 -	-	-	8 4,4
		1,0	12 0,6	15 1,4	16 1,2	11 -	13 -	17 -	-	6 -
		2,0	15 -	16 -	16 -	14 -	15 -	20 -	10 -	7 6,0
2		0,5	10 3,2	11 2,7	10 4,2	9 2,7	11 -	-	10 -	4 3,7
		1,0	12 -	17 -	18 -	-	-	-	-	3 2,7
		2,0	18 2,6	24 -	24 -	19 -	19 -	26 -	15 -	10 9,5
3		0,5	12 0,4	13 0,5	13 1,2	12 -	11 -	-	6 -	6 -
		1,0	15 7,4	17 9,5	16 8,5	12 -	8 -	13 -	-	4 -
		2,0	14 -	18 1,2	16 0,4	18 0,9	14 1,2	19 0,9	8 -	5 -
4		0,5	20 -	20 -	16 -	-	-	-	-	15 12,7
		1,0	24 -	15 -	28 -	28 -	23 -	33 -	-	-
		2,0	19 1,4	22 1,9	20 0,2	22 0,2	16 -	21 -	-	2 -
5		0,5	9 -	24 -	-	-	-	-	-	20 1,8
		1,0	10 -	12 1,1	12 0,9	-	-	13 -	2 -	17 7,2
		2,0	12 0,1	16 2,3	16 0,9	-	12 -	17 0,9	6 -	10 2,7
6		0,5	11 -	-	-	-	-	-	-	24 3,9
		1,0	9 -	10 -	-	-	-	-	-	22 -
		2,0	12 -	17 0,2	14 -	-	12 -	-	5 -	11 2,5
7		0,5	16 6,4	-	-	-	-	-	-	25 -
		1,0	20 -	-	-	-	-	-	-	16 9,0
		2,0	20 11,0	27 12,0	-	-	-	-	4 0,7	18 12,0
8		0,5	-	18 -	-	-	-	-	3 -	29 -
		1,0	-	18 -	-	-	-	-	5 -	16 0,7
		2,0	12 0,6	10 -	-	-	-	-	-	8 0,5

Tab. 40 : Mittelwerte und Standardabweichungen der Magnesiumgehalte in ppm

Test-u. Vers.- fläche	Tiefe in m	3.12.74		19.12.74		8.1.75		22.1.75		5.2.75		19.2.75		5.3.75		19.3.75	
		$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
1	1	8	-	11	2,5	12	6,4	-	-	7	3,9	6	4,2	6	3,9	16	2,8
		11	2,8	13	0,2	10	1,1	-	-	10	1,4	9	1,1	9	-	9	4,2
		13	-	11	0,5	15	0,4	-	-	10	11,3	18	2,1	18	0,7	11	3,9
2		11	2,4	14	2,4	8	1,1	-	-	9	1,1	5	-	5	0,3	10	3,5
		10	2,1	12	1,2	13	1,5	-	-	14	0,7	12	1,1	14	0,7	15	0,7
		9	-	13	7,6	17	3,5	-	-	20	3,2	20	2,5	22	2,1	15	2,1
3		8	1,4	10	1,9	7	2,9	-	-	7	1,8	7	2,1	6	2,1	8	5,7
		8	-	11	2,8	15	9,9	-	-	14	12,0	13	10,6	12	10,6	12	-
		-	-	14	-	18	6,4	-	-	17	4,2	19	4,6	17	4,9	7	1,4
4		22	12,0	18	4,2	16	5,7	-	-	10	3,1	12	3,2	11	4,2	8	3,5
		-	-	14	1,8	17	0,7	-	-	15	1,1	17	1,4	16	2,1	9	-
		-	-	10	0,7	22	-	-	-	16	0,7	21	-	18	-	17	0,7
5		24	-	15	4,7	13	8,5	-	-	6	1,4	8	1,4	6	0,7	5	1,4
		22	5,1	11	0,2	10	4,6	-	-	11	-	12	-	10	-	9	-
		18	-	12	3,9	14	0,7	-	-	16	3,5	19	3,5	18	3,5	15	2,1
6		24	5,5	10	0,3	6	1,8	-	-	5	2,5	9	2,8	7	2,8	7	-
		20	5,7	16	3,0	13	1,8	-	-	10	-	13	-	19	-	16	-
		15	0,5	15	2,7	18	2,1	-	-	17	4,2	22	3,5	22	14,8	13	1,4
7		28	5,3	14	6,2	9	4,9	-	-	6	3,9	4	2,5	18	11,3	9	4,6
		24	5,7	17	3,7	20	8,5	-	-	21	8,5	18	4,6	14	-	-	-
		-	-	11	4,7	17	-	-	-	17	1,7	16	3,2	18	0,7	11	-
8		32	-	8	6,7	4	2,1	-	-	3	0,3	2	0,4	15	7,0	13	-
		26	0,2	21	0,4	18	1,8	-	-	12	2,1	11	1,4	9	2,8	11	-
		14	-	14	3,6	17	4,2	-	-	14	2,1	16	2,8	21	-	18	2,1

Test-u.
Vers.=
fläche

Tiefe
in m

		7.11.73	19.11.73	12.12.73	4.1.74	22.1.74	6.2.74	19.2.74	5.3.74									
		$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$									
		s	s	s	s	s	s	s	s									
1	1	0,5	42	31,1	55	6,0	67	4,0	60	7,6	68	5,7	75	10,5	65	6,5	65	5,4
		1,0	34	9,0	36	10,3	43	12,7	37	4,8	40	-	43	1,2	38	2,0	38	3,4
		2,0	7	0,3	7	-	8	1,3	7	-	15	-	12	3,6	8	-	8	-
2	2	0,5	63	5,9	57	3,6	54	5,6	48	11,1	55	18,7	68	29,0	65	26,5	64	27,0
		1,0	41	2,9	43	5,9	57	8,7	44	9,7	46	9,5	49	11,8	45	10,6	44	9,1
		2,0	9	1,1	8	0,5	-	-	10	0,2	11	0,6	13	-	12	-	11	0,7
3	3	0,5	68	0,7	62	13,5	72	2,9	66	18,4	76	26,0	99	34,4	79	12,3	78	14,2
		1,0	87	-	74	-	40	38,6	32	28,2	34	30,2	43	43,0	38	40,0	38	40,9
		2,0	7	4,8	7	2,5	9	3,5	9	4,4	9	4,3	12	6,1	10	4,6	11	4,7
4	4	0,5	59	12,4	60	7,9	53	0,3	42	4,8	41	2,9	49	0,4	41	4,2	40	4,7
		1,0	14	-	16	3,6	17	5,4	16	3,2	15	2,5	16	2,8	13	2,0	12	1,9
		2,0	4	0,3	5	0,7	6	0,3	7	-	6	-	65	77,8	6	-	6	0,3
2	5	0,5	26	-	34	-	46	-	50	-	57	-	69	-	53	-	53	-
		1,0	-	-	-	-	17	4,1	7	3,5	9	1,9	10	2,8	8	1,3	8	2,0
		2,0	3	2,4	4	2,9	6	3,7	33	43,8	3	2,4	4	2,0	3	2,3	3	2,0
6	6	0,5	9	-	7	-	12	5,2	22	-	25	25,1	34	34,9	49	-	44	-
		1,0	-	-	27	-	9	-	9	-	12	-	18	-	16	-	17	-
		2,0	1	-	1	-	1	-	1	0,2	1	0,3	1	0,4	1	0,3	1	0,7
7	7	0,5	27	4,6	25	2,4	36	4,9	38	9,5	49	10,5	59	10,1	47	7,5	43	5,6
		1,0	11	-	9	-	8	3,7	8	4,1	8	4,1	10	4,0	7	2,6	10	-
		2,0	4	0,1	3	-	6	0,6	6	1,0	6	0,3	7	1,0	6	2,4	6	1,7
8	8	0,5	58	49,8	97	-	52	34,9	48	31,9	55	36,5	74	41,3	58	22,9	58	22,6
		1,0	-	-	-	-	12	3,5	9	1,4	8	1,6	10	2,0	8	0,8	8	0,7
		2,0	3	0,7	3	1,0	10	11,1	5	4,1	3	2,5	4	2,0	4	4,1	5	3,7

Tab. 42 : Mittelwerte und Standardabweichungen der Kaliumgehalte in ppm

Test-u. Vers.- fläche	Tiefe in m	11.4.73		17.4.73		25.4.73		8.5.73		22.5.73		5.6.73		19.6.73		11.7.73	
		$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
1	0,5	38	9,5	41	3,4	-	-	36	4,3	49	6,7	43	5,0	-	-	-	-
	1,0	26	3,8	28	2,9	-	-	24	3,5	28	4,5	27	6,4	26	11,7	-	-
	2,0	12	3,3	11	4,2	-	-	9	2,8	10	3,3	10	2,5	11	2,5	10	1,9
2	0,5	46	5,9	45	1,7	-	-	28	15,7	55	6,7	39	0,3	4	-	-	-
	1,0	38	6,4	38	5,7	-	-	31	3,5	39	3,3	36	0,3	28	0,2	-	-
	2,0	17	3,8	13	1,3	-	-	14	4,4	12	0,8	11	0,4	12	0,9	12	2,0
3	0,5	53	-	47	-	-	-	38	-	56	-	36	-	-	-	-	-
	1,0	32	25,7	32	26,7	-	-	21	15,5	26	20,2	29	24,7	47	-	-	-
	2,0	9	4,4	9	4,4	-	-	7	3,5	8	3,9	8	4,7	8	3,8	7	4,0
4	0,5	35	11,6	24	26,3	-	-	33	11,2	36	12,3	25	11,1	-	-	-	-
	1,0	13	0,1	19	10,9	-	-	9	-	11	0,3	10	0,5	10	0,4	-	-
	2,0	6	1,0	9	4,1	-	-	4	0,5	5	-	4	0,1	5	0,1	6	0,2
5	0,5	-	-	-	-	26	15,9	29	16,5	27	16,0	27	11,9	30	15,0	-	-
	1,0	-	-	-	-	14	5,9	15	6,6	14	5,6	14	6,0	15	4,9	14	5,7
	2,0	-	-	-	-	5	3,2	6	3,2	5	3,4	6	3,5	6	3,2	5	3,3
6	0,5	-	-	-	-	16	6,8	17	6,9	16	5,6	17	5,8	15	4,0	-	-
	1,0	-	-	-	-	17	1,6	17	1,0	17	1,1	18	0,2	18	1,8	16	1,6
	2,0	-	-	-	-	4	1,4	3	1,5	3	2,0	3	1,7	3	2,0	3	2,1
7	0,5	-	-	-	-	23	10,1	24	9,8	23	9,2	27	11,6	23	9,9	-	-
	1,0	-	-	-	-	7	4,1	7	3,7	8	4,5	9	5,0	9	5,0	8	4,1
	2,0	-	-	-	-	5	0,8	7	1,6	5	0,8	6	1,3	6	1,2	6	1,2
8	0,5	-	-	-	-	51	5,4	52	4,1	53	6,2	52	5,6	56	2,5	-	-
	1,0	-	-	-	-	13	1,4	13	1,4	11	1,7	13	2,5	12	2,2	12	1,7
	2,0	-	-	-	-	5	1,6	5	1,3	5	2,2	5	2,5	5	2,4	5	2,2

Tab. 43: Mittelwerte und Standardabweichungen der Kaliumgehalte in ppm

Test-u.
Vers.=
fläche

Tiefe
in m

	18.7.73	1.8.73	15.8.73	30.8.73	12.9.73	26.9.73	10.10.73	25.10.73
	$\bar{x}$ s	$\bar{x}$ s	$\bar{x}$ s	$\bar{x}$ s	$\bar{x}$ s	$\bar{x}$ s	$\bar{x}$ s	$\bar{x}$ s
1 1	-	-	-	-	-	-	-	53 2,3
	1,0	-	-	-	-	-	-	- 8 -
	2,0	1,9	1,3	1,2	1,2	0,3	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-	36 23,7
	0,5	-	-	-	-	-	-	- 10 0,1
	1,0	-	-	-	-	-	-	- 74 20,5
	2,0	11 0,5	10 0,8	12 1,5	13 1,4	9 0,2	10	9 2,1
3	-	-	-	-	-	-	-	55 12,5
	0,5	-	-	-	-	-	-	- 6 1,8
	1,0	-	-	-	-	-	-	-
	2,0	8 4,1	7 3,9	8 4,2	8 4,3	6 2,4	7	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-
	0,5	-	-	-	-	-	-	-
	1,0	-	-	-	-	-	-	-
	2,0	6 1,0	5 0,8	6 1,1	6 0,6	5	5	-
2 5	-	28	-	-	-	-	-	-
	0,5	13 7,9	10 9,5	-	-	-	-	-
	1,0	6 3,1	5 2,8	-	-	-	-	-
	2,0	-	-	4 5,0	4 5,0	3 3,1	3	3 2,2
6	-	-	-	-	-	-	-	11 -
	0,5	12 4,0	7 -	-	-	-	-	-
	1,0	3 2,4	3 2,3	-	-	-	-	-
	2,0	-	-	3 3,1	-	1	1	2 -
7	-	-	-	-	-	-	-	-
	0,5	17	-	-	-	-	-	-
	1,0	9 4,8	8 4,1	-	-	-	-	-
	2,0	5 1,4	6 1,3	35 19,2	12 -	-	-	-
8	-	-	-	6 2,1	6 2,5	5	4 2,7	5 0,8
	0,5	12 1,9	-	-	-	-	-	-
	1,0	5 2,1	6 1,5	-	-	-	-	-
	2,0	-	3 -	-	-	-	-	-
				2 2,1	2 2,2	3	2 1,3	3 2,0

Tab. 44: Mittelwerte und Standardabweichungen der Kaliumgehalte in ppm

Test-u. Vers.- fläche		Tiefe in m	23.4.74		10.5.74		29.5.74		12.06.74		26.06.74		12.07.74		14.08.74	
			$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
1	1	0,5	70	1,3	65	2,9	71	-	504	61,6	1587	-	1681	-	971	-
		1,0	37	0,7	33	2,9	38	2,6	299	17,6	896	-	996	-	-	-
		2,0	11	-	9	-	9	-	68	-	199	-	212	-	280	-
2	2	0,5	62	17,0	64	20,5	56	-	538	162,9	1587	396,1	1930	-	-	-
		1,0	45	4,9	37	-	43	-	336	-	-	-	-	-	-	-
		2,0	12	-	11	0,7	12	-	106	-	274	-	274	-	336	-
3	3	0,5	62	-	69	-	73	-	691	140,9	2303	-	2428	-	-	-
		1,0	37	38,8	37	39,8	40	44,0	327	347,7	1705	-	2023	-	1930	-
		2,0	10	4,9	8	4,4	9	4,0	81	35,2	202	110,0	286	105,6	274	123,2
4	4	0,5	46	2,9	42	-	46	-	374	-	-	-	-	-	-	-
		1,0	13	1,6	13	-	14	-	125	-	311	-	411	-	436	-
		2,0	7	-	8	3,6	7	0,8	72	13,2	158	13,2	187	-	193	-
5	5	0,5	50	-	48	-	47	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		1,0	7	2,6	7	2,9	8	3,2	84	13,2	-	-	-	-	330	-
		2,0	3	1,6	3	2,0	3	2,3	44	35,2	-	-	162	-	124	88,0
6	6	0,5	30	-	28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		1,0	17	-	17	-	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		2,0	2	1,0	2	1,5	2	1,6	25	17,6	-	-	112	-	-	-
7	7	0,5	32	1,6	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		1,0	10	2,3	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		2,0	6	2,0	6	1,3	6	1,0	-	-	-	-	-	-	-	-
8	8	0,5	53	16,3	-	-	43	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		1,0	9	0,3	-	-	9	-	75	-	-	-	-	-	274	-
		2,0	4	1,3	3	1,6	3	0,7	44	-	-	-	-	-	137	-

Tab. 45 : Mittelwerte und Standardabweichungen der Kaliumgehalte in ppm

Test-u. Vers.- fläche	Tiefe in m	30.10.74		13.11.74		3.12.74		19.12.74		8.01.75		22.01.75		5.02.75	
		$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
1	1	-	-	1071	17,6	1270	-	591	220,1	29	4,9	22	0,7	22	0,7
	1,0	-	-	311	-	613	118,8	324	35,2	17	2,1	14	1,4	15	1,4
	2,0	87	-	87	35,2	261	-	65	4,4	4	1,0	3	0,4	4	0,4
2	0,5	1183	-	1158	493,0	1301	396,2	623	-	27	1,4	21	1,8	21	2,5
	1,0	-	-	349	-	594	4,4	296	39,3	19	4,9	15	2,8	17	2,8
	2,0	149	-	180	8,8	261	-	59	13,2	3	0,7	3	0,7	4	0,4
3	0,5	959	-	965	308,1	1282	158,5	523	140,9	31	9,9	28	9,2	26	7,1
	1,0	-	-	685	-	1096	-	230	272,9	13	15,2	11	12,0	10	11,0
	2,0	81	-	-	-	-	-	62	-	2	0,3	3	-	4	1,1
4	0,5	-	-	747	176,1	1102	114,4	423	26,4	21	-	16	2,5	15	1,1
	1,0	-	-	-	-	-	-	56	-	3	0,4	3	0,4	3	0,4
	2,0	-	-	50	17,6	-	-	34	13,2	2	-	4	2,1	3	-
2	5	-	-	990	625,0	1426	977,2	517	378,5	25	20,5	19	13,4	16	10,6
	1,0	125	-	218	44,0	329	83,6	93	44,0	5	-	5	-	5	-
	2,0	125	-	65	48,4	156	-	40	22,0	2	0,7	2	0,7	2	1,1
6	0,5	-	-	647	493,0	990	801,1	249	193,7	11	7,8	9	6,0	9	5,7
	1,0	-	-	436	-	604	149,7	227	48,4	10	1,7	9	1,4	9	0,7
	2,0	174	-	47	22,0	103	22,0	34	22,0	3	2,1	3	2,5	3	2,8
7	0,5	-	-	971	-	1220	105,6	311	-	12	0,4	11	0,7	12	0,7
	1,0	-	-	143	26,4	212	52,8	62	-	3	0,4	3	0,7	4	1,1
	2,0	78	4,4	405	413,8	-	-	50	-	3	0,4	3	0,7	4	2,5
8	0,5	156	-	1245	-	1805	-	461	70,4	11	4,6	31	28,6	22	17,7
	1,0	62	-	171	4,4	339	22,0	118	26,4	5	1,1	5	0,4	5	0,7
	2,0	-	-	90	13,2	212	-	37	17,6	3	-	2	0,4	2	0,4

Tab. 46: Mittelwerte und Standardabweichungen der Kaliumgehalte in ppm

Test-u. Vers.= fläche		Tiefe in m		19.2.75		5.3.75		19.3.75		8.4.75		30.4.75		22.5.75		5.6.75		27.6.75		23.7.75	
				$\bar{x}$	S	$\bar{x}$	S	$\bar{x}$	S	$\bar{x}$	S	$\bar{x}$	S	$\bar{x}$	S	$\bar{x}$	S	$\bar{x}$	S	$\bar{x}$	S
1	1	0,5	21	0,7		20	-	20	-	19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		1,0	15	0,7		14	0,7	13	0,4	14	0,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		2,0	5	0,7		5	-	5	0,4	6	1,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	2	0,5	20	2,1		20	0,7	20	2,1	19	1,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		1,0	17	2,1		17	1,4	16	1,4	17	2,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		2,0	4	1,1		5	1,4	5	1,4	6	0,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	3	0,5	25	7,8		11	11,4	24	7,4	22	7,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		1,0	11	8,5		26	13,4	16	-	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		2,0	4	0,4		4	-	5	-	5	0,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	4	0,5	15	2,1		14	1,1	14	1,1	14	0,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		1,0	4	0,4		4	0,4	4	0,7	4	1,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		2,0	3	-		3	-	5	0,7	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	5	0,5	15	10,6		13	9,5	13	9,2	12	8,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		1,0	4	-		4	-	4	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		2,0	2	0,7		3	0,7	3	0,7	2	0,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	6	0,5	9	4,9		9	5,7	6	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		1,0	9	-		9	-	10	-	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		2,0	3	2,8		3	2,8	3	2,5	3	2,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	7	0,5	9	-		9	0,4	10	-	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		1,0	4	0,4		3	-	-	-	4	0,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		2,0	4	0,7		4	0,7	3	-	4	1,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	8	0,5	18	12,7		18	12,0	10	-	19	13,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		1,0	4	0,4		4	-	5	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		2,0	3	0,7		3	-	2	0,4	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

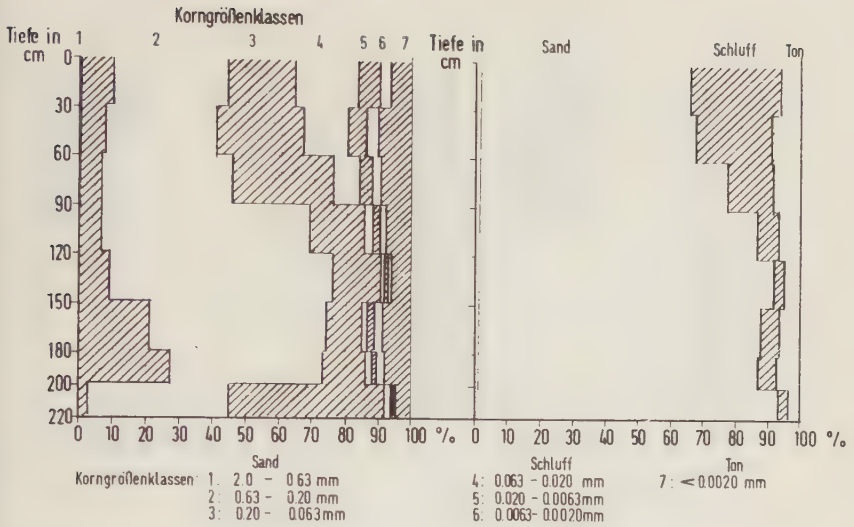


Abb. 31: Korngrößenfraktionierung der Bodenproben aus der Bohrung der Meßstelle 2 für die Messung der Bodenfeuchte mit einer Neutronen-sonde

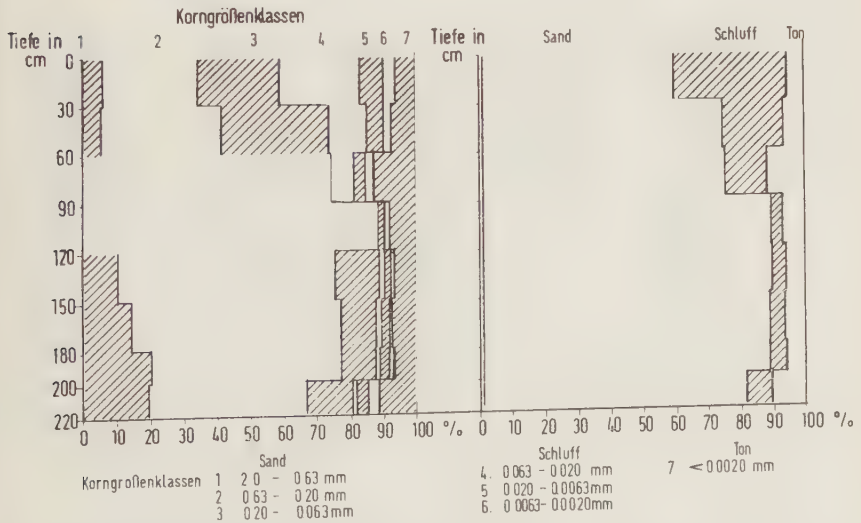


Abb. 32: Korngrößenfraktionierung der Bodenproben aus der Bohrung der Meßstelle 3 für die Messung der Bodenfeuchte mit einer Neutronen-sonde

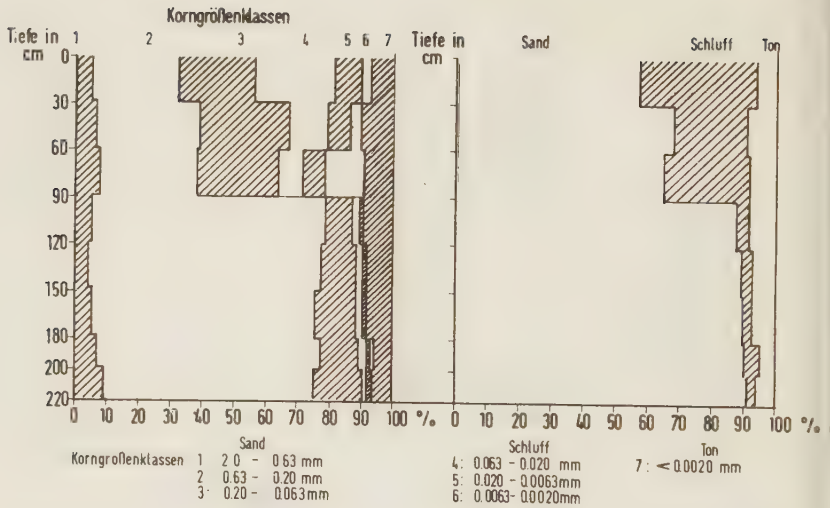


Abb. 33: Korngrößenfraktionierung der Bodenproben aus der Bohrung der Meßstelle 4 für die Messung der Bodenfeuchte mit einer Neutronen-sonde

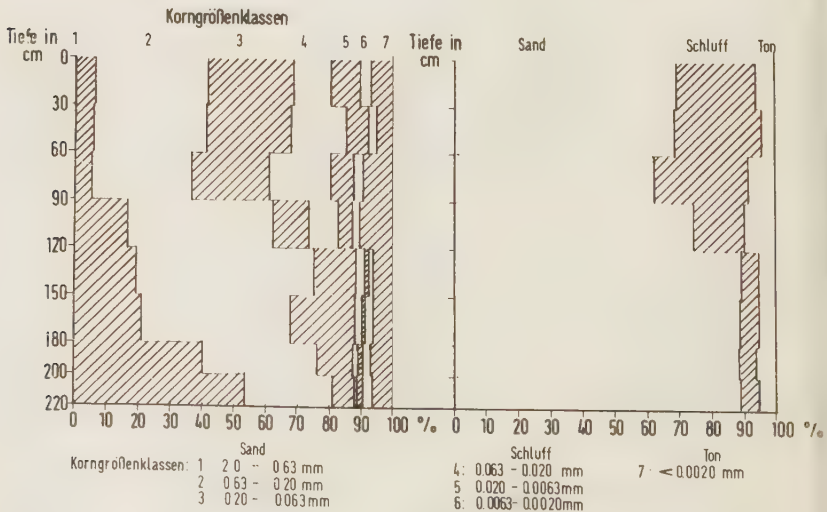


Abb. 34: Korngrößenfraktionierung der Bodenproben aus der Bohrung der Meßstelle 5 für die Messung der Bodenfeuchte mit einer Neutronen-sonde

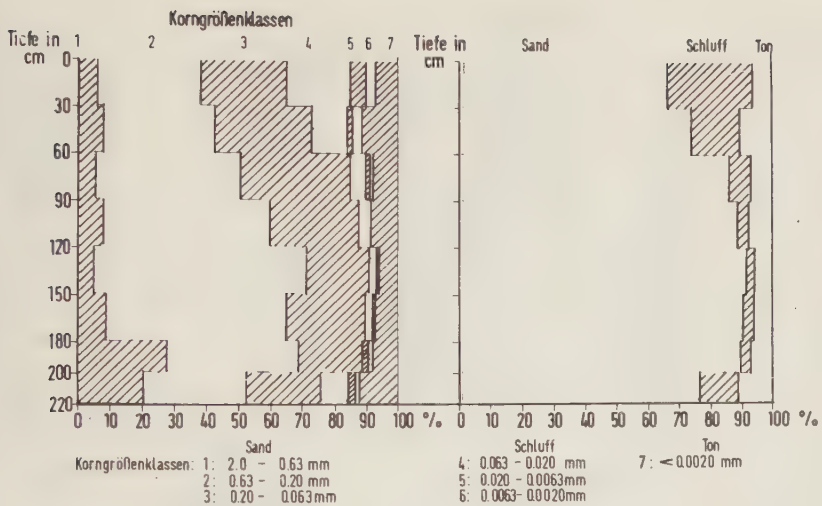


Abb. 35: Korngrößenfraktionierung der Bodenproben aus der Bohrung der Meßstelle 6 für die Messung der Bodenfeuchte mit einer Neutronen-sonde

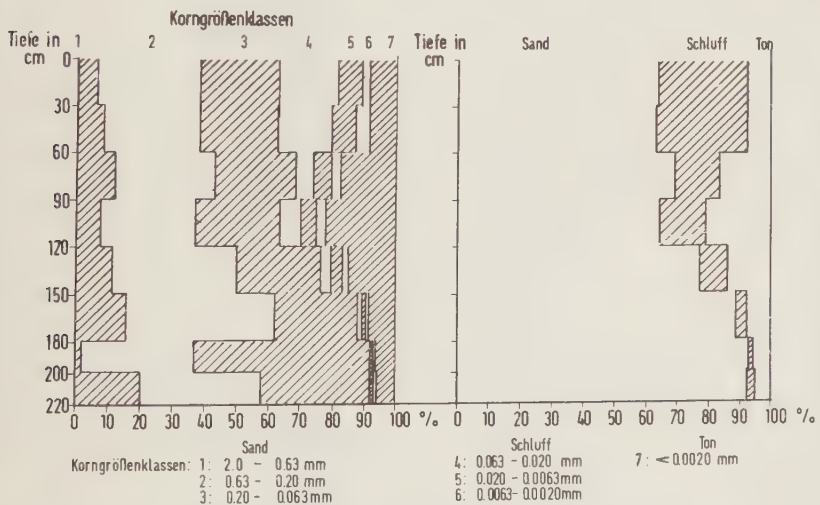


Abb. 36: Korngrößenfraktionierung der Bodenproben aus der Bohrung der Meßstelle 7 für die Messung der Bodenfeuchte mit einer Neutronen-sonde

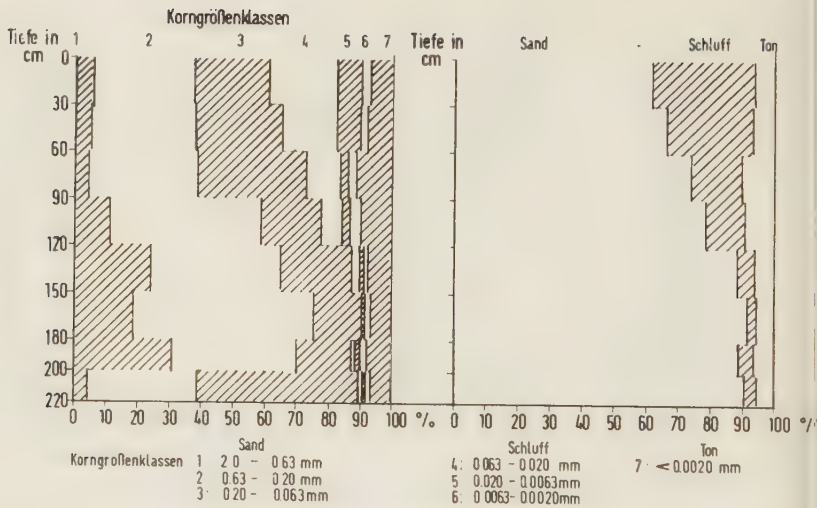


Abb. 37: Korngrößenfraktionierung der Bodenproben aus der Bohrung der Meßstelle 8 für die Messung der Bodenfeuchte mit einer Neutronen- sonde

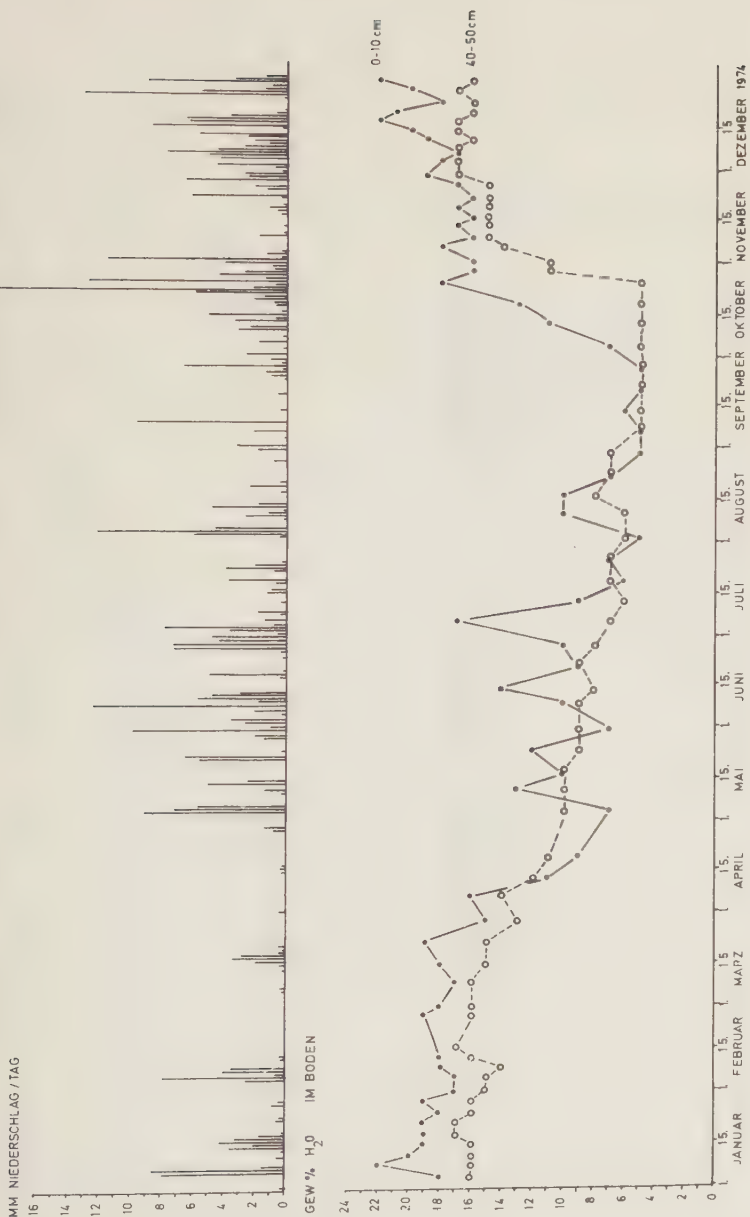


Abb. 38: Niederschläge in mm/Tag und Wassergehalte in Gewichtsprozent im Boden in 0 - 10 und 40 - 50 cm Tiefe nach Angaben der Agrarmeteorologischen Forschungsstelle, Braunschweig, für das Jahr 1974.

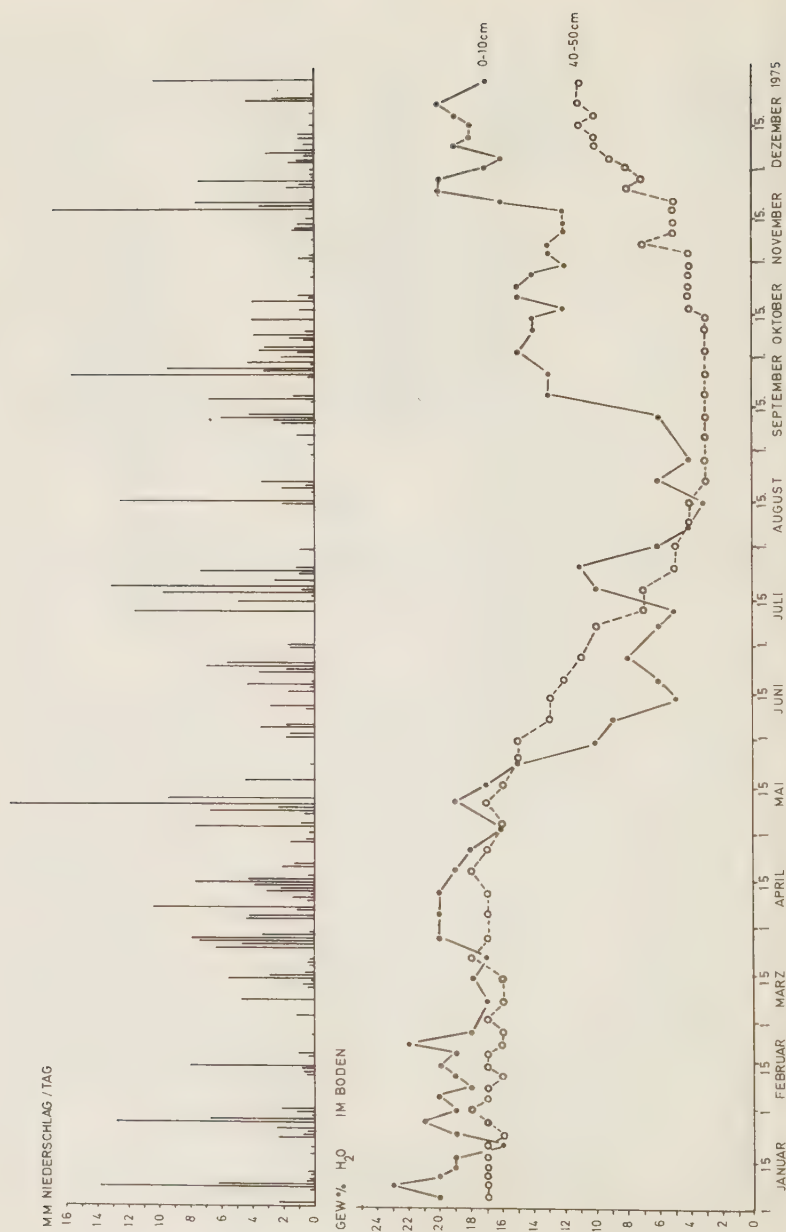


Abb. 39: Niederschläge in mm/Tag und Wassergehalte in Gewichtsprozent im Boden in 0 - 10 und 40 - 50 cm Tiefe nach Angaben des Parameter-Innischen Forschungsinstituts Braunschweig für das Jahr 1975

LEBENS LAUF

17.02.1943 geboren in Antakya - Türkei

Vater: Mehmet Aslan, Beamter in Ruhestand

Mutter: Edibe Aslan, Hausfrau

1951 - 1955

Besuch der Volksschule

1956 - 1958

Besuch der Mittelschule

1959 - 1961

Besuch des Gymnasiums, Abitur im naturwissenschaftlichen Zweig

1962 - 1963

Studium der französischen Sprache an der Universität Ankara

1964 - 1967

Studium an der Landwirtschaftlichen Fakultät der Universität Ankara

Das landwirtschaftliche Praktikum wurde in den Semesterferien abgeleistet

Juni - Sept. 1965

Landwirtschaftliches Praktikum bei Ulm/Deutschland

Juni 1967

Diplomprüfung

Nov. 1967 - Mai 1968

Tätigkeit im Boden- und Wasseruntersuchungslabor des Dörferministeriums in Ankara

April 1968 - Okt. 1970

Tätigkeit in einem Untersuchungsamt für die Klassifizierung von Ackerböden der Osttürkei (Provinzen Mus u. Van)

Okt. 1970 - Jan. 1972

Erlernen der deutschen Sprache

Feb. 1972 - Dez. 1972

Einarbeitung in die Problematik organischer Stickstoffdünger(N-Lignin)im Institut für Biochemie des Bodens der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode

1973 - 1978

Doktorand im Institut für Biochemie des Bodens der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode

Juli - Dez. 1975

Ableistung des Militärdienstes in der Türkei

